

João Filipe Gonçalves do Rio

Estimativas Preliminares do Potencial Eólico na Ausência de Dados de Vento Locais

Orientado por:

Álvaro Rodrigues

Professor Auxiliar

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2008

Aos meus Pais

Resumo

É cada vez mais importante, no âmbito da conversão da energia eólica, saber com rigor o potencial eólico de uma região. Para isso, é necessário possuir dados de vento para se proceder a esta estimativa. Desejavelmente, utilizam-se dados de vento locais para se proceder a esta análise; contudo, onde não existem estes dados, não é possível fazer essa previsão. É pois, necessário instalar uma estação de medição, proceder à sua operação e manutenção e tratar os dados obtidos. Tudo isto implica tempo de espera, pois é essencial ter pelo menos um ano de dados, sendo preferível que se tenha o maior espaço temporal possível, para se fazer esta análise, para ter em consideração as variações do regime de ventos, nomeadamente a sazonalidade e a variabilidade inter-anual.

Este trabalho tenta verificar a viabilidade da estimativa do potencial eólico de uma região, na ausência de dados de vento locais. Para isso, é dada uma ênfase particular às séries de reanálise elaboradas pelo NCEP/NCAR. São analisados dois locais distintos, e com diferentes orografias, em Portugal continental: um situado na Serra do Açor e o outro relativamente perto da albufeira do Alqueva, mais precisamente em S. Pedro de Portel. Para se proceder a este estudo, são comparados os resultados obtidos através das séries de reanálise com os calculados através dos dados de vento locais, que são muito bem conhecidos para estes dois pontos de estudo: para o Açor têm-se os dados desde Janeiro de 1995 e em S. Pedro de Portel desde Agosto de 2004, ambos até Fevereiro de 2008.

São utilizados todos os ficheiros das séries de reanálise que disponibilizem a velocidade do vento, que se obtêm para duas grelhas globais distintas, dependendo do *dataset* em que estes se encontram. No caso do Açor utiliza-se um ponto de reanálise que está distanciado, aproximadamente, 35 km do local em estudo, enquanto em S. Pedro de Portel se utilizam dois pontos de reanálise, sendo um distanciado 94 km na direcção Sul, enquanto o outro 82 km na direcção Norte. Para se proceder a este estudo, utiliza-se o programa de simulação WAsP, onde são analisados os resultados através das rosas-dos-ventos, de potência e distribuições de *Weibull* para o ponto em análise, assim como é estudada uma grelha de 36 km² em torno desse mesmo ponto, com uma resolução de 50 metros, e comparados entre si os resultados obtidos.

Após esta análise e comparação dos resultados, verificaram-se algumas discrepâncias. Tanto a potência como a velocidade média do vento previstas através das séries de reanálise, encontram-se bastante longe dos valores esperados, verificando-se uma subestimativa sistemática do vento. Contudo, mediante os valores da potência e da velocidade média obtidos através das séries de reanálise, conseguem-se identificar os locais com melhores condições de potencial eólico. Não é evidente que a qualidade dos resultados seja igual para qualquer ponto do globo, podendo existir locais com melhores ou piores resultados. Outro facto a referir é a forma das rosas-dos-ventos e das rosas de potência obtidas, que no caso do ponto do Açor conseguem ser relativamente bem previstas, enquanto no caso de S. Pedro de Portel isso já não acontece: estas formas mantêm-se iguais às dos dados observados através das séries de reanálise, onde se conclui que o terreno não é complexo o suficiente para poder modificar a intensidade e direcção do vento.

Em face dos resultados obtidos, pode concluir-se que, salvo em casos especiais, a quantificação do recurso eólico, com vista ao seu aproveitamento energético, deve passar pela instalação de uma campanha de medições local. A utilização de outras fontes de dados pode ser válida, mas apenas em termos qualitativos.

Preliminary prediction of the wind potential in the absence of local wind data

Abstract

It is increasingly important, in the wind energy conversion, to know accurately the wind potential of a region. To do that, it is necessary to have wind data to proceed to this prediction. It's desirable to use local wind data measured on site to do this analysis, however, where the local wind data doesn't exist, it is not possible to do that prediction. It is necessary install a measure station, to proceed to its maintenance and treat the obtained data. All of this implies waiting time, because it is necessary have, at least, one year of data, preferably the largest space-time possible, to do this analysis, to have in consideration the wind variation, in particular the seasonal variation and the inter-annual variability

This work tries to check the feasibility of the prediction in the local wind potential, when the local wind data is not available. For that, emphasis is given to the reanalysis series data, prepared by NCEP/NCAR. Two distinct places, with different orographies in continental Portugal has been analyzed: one is located in the ridge of mountains of Açor and the other very close of the Alqueva reservoir, more precisely in S. Pedro de Portel. To proceed to this study, the results obtained by the reanalysis series has been compared with the ones obtained through the local wind data, which are very well known in those two places: for the Açor, the data is available data from 1995 January and in S. Pedro de Portel since 2004 August, both ending in 2008 February.

Has been used all the reanalysis series files that offer the wind velocity, which are obtained in two different global grids, depending on the dataset that each are contained. In the Açor case, has been use one reanalysis point, which distances 35 km, while in S. Pedro de Portel two reanalysis points has been treated, being distant 94 km in the South direction, in one case, and the other 82 km in the North direction. To proceed in this study, has been used the simulation program WAsP, where the results are analyzed through the wind rose, potential rose and Weibull distribution for the analyzed point, along with a 36 km² around this even point, with a 50 meter resolution, and compared among themselves the obtained results.

After this analysis and result comparison, there were some discrepancies. As the wind potential and as the average speed, predicted with the reanalysis series, are far enough of the expected values, being nearly always underestimated. However, by the results of the wind potential and average speed obtained by the reanalysis series, it is possible to identify the better and the worst places in wind potential terms. It isn't evident that the quality of the results is quite similar in every spot of the globe, where may exist locals with improved or worse results. It is important to refer that the wind rose and the potential rose prediction obtained, in the Açor case is quite well predicted, not happening the same in the S. Pedro de Portel case: the predicted roses are equal to the wind observed data by the reanalysis series, where is concluded that the terrain isn't complex enough to modify the wind intensity and direction.

It is possible to conclude, excepting in special cases, that the quantification of the wind source, for energy use, must pass through the installation of a local measure campaign. The use of other data source may be valid, but only in qualitative terms.

Agradecimentos

Não teria sido possível a realização deste trabalho se não tivesse tido toda ajuda que recebi ao longo da sua execução. Não pretendo deixar passar esse facto em claro e quero desde já deixar o meu mais profundo agradecimento a essas pessoas, pedindo desculpa por qualquer omissão que ocorra da minha parte.

Em primeiro lugar, e como não poderia deixar de ser, gostaria de agradecer ao Professor Álvaro Rodrigues pela sua disponibilidade e orientação ao longo destes meses. Todo o seu valor e profissionalismo, despertou em mim, um especial interesse por este ramo da Engenharia Mecânica.

Quero deixar o meu mais profundo agradecimento a todas as pessoas da Secção de Energia Eólica do INEGI (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial) pela sua disponibilidade e paciência que tiveram para comigo, agradecendo particularmente ao Engenheiro Miguel Marques, meu tutor no INEGI, por todos os ensinamentos que partilhou comigo, mesmo nos momentos de maior trabalho da sua parte, nunca deixou de me ajudar e aconselhar. Tenho perfeita noção que a elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a sua preciosa ajuda. Não queria deixar passar, sem aproveitar para lhe pedir desculpa não ter sabido levar à prática todas as orientações e conselhos recebidos.

Agradeço, também ao Engenheiro Carlos Santos, investigador do CEsa (Centro de Estudos de Energia Eólica e Escoamento Atmosférico), na preciosa ajuda que me deu na detecção de problemas que ocorreram na fase de concepção dos *m-files* do MatLab[®].

Tenho também que agradecer ao Professor Pedro Miranda da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e ao seu colaborador e investigador Emanuel Dutra, que me forneceram os dados das séries de reanálise do ECMWF, e que me responderam a inúmeras dúvidas que foram surgindo no âmbito da meteorologia.

Não quero deixar passar sem agradecer à Bruna Araújo por todo o apoio que me deu ao longo destes meses e ao facto de nas alturas de maior desânimo estar sempre do meu lado (muitas vezes longe), nunca deixando de me apoiar e de me dar toda a força que necessitei.

Finalmente, quero agradecer todo o apoio e ajuda, silenciosa e discreta, mas fundamental, que os meus pais e a minha irmã me dispensaram, tendo noção que se não tivesse havido um enorme sacrifício por parte deles ao longo da minha formação académica, nada disto teria sido possível.

Índice

Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tabelas	xx
Índice de Gráficos	xxi
Nomenclatura.....	xxii
Lista de Acrónimos	xxiii
1. Introdução	1
1.1. Apresentação.....	1
1.2. Enquadramento	1
1.3. Objectivos	2
1.4. Organização	2
2. A Energia	5
2.1. A Energia, o Homem e a História.....	5
2.2. O papel das fontes renováveis de energia na sociedade actual.....	6
2.3. A história da energia eólica.....	7
2.4. Os diversos tipos de rotor ao longo da história.....	9
2.4.1. Rotores de eixo horizontal.....	9
2.4.2. Rotores de eixo vertical	11
2.4.3. Turbina eólica teórica	13
3. O vento.....	15
3.1. Forças associadas a uma partícula de ar	15
3.2. O regime de Ventos Europeu.....	15
4. Fontes de informação para recolha de dados de vento.....	19
4.1. Como surgiram as séries de reanálise	19
4.2. Dados de observação para a elaboração das séries de reanálise	19
4.2.1. Dados de <i>rawinsondes</i> e <i>RAOB's</i> globais	20
4.2.2. Dados COADS da superfície marítima	21
4.2.3. Dados provenientes de aeronaves.....	21
4.2.4. Dados sinóticos de superfície	21
4.2.5. Dados provenientes de sondas satélite.....	21
4.2.6. SSM/I da velocidade do vento na superfície da terra	22
4.2.7. Movimentação das nuvens através de imagens de satélite	22
4.3. Observação e qualidade dos arquivos de reanálise	22

4.4.	Organização das séries	24
4.4.1.	Nível de pressão (<i>Pressure level</i>).....	24
4.4.2.	Superfície (<i>Surface</i>)	25
4.4.3.	Fluxos de superfície (<i>Surface Fluxes</i>).....	25
4.4.4.	Outros fluxos (<i>Other Fluxes</i>)	26
4.4.5.	Tropopausa (<i>Tropopause</i>).....	26
4.4.6.	Coeficientes espectrais (<i>Spectral Coefficients</i>).....	26
4.4.7.	Dados derivados (<i>Derived Data</i>)	26
4.5.	Impacto das mudanças no sistema de observação de dados.....	27
4.6.	Problemas e erros conhecidos da reanálise	27
5.	Locais em estudo	29
5.1.	Transformação de coordenadas	29
5.2.	Apresentação dos locais	29
5.2.1.	Açor.....	30
5.2.2.	S. Pedro de Portel.....	33
5.3.	Rugosidades.....	37
5.3.1.	CORINE Land Cover 2000 (CLC2000)	37
5.3.2.	Sistema de rugosidade do <i>Software WASP</i>	37
6.	O <i>Software WASP</i>	39
6.1.	A base física	39
6.1.1.	Leis de similaridade na camada superficial	39
6.1.2.	Lei da resistência aerodinâmica geostrófica e o vento geostrófico.....	39
6.2.	Modelo de estabilidade.....	39
6.3.	Modelo de alteração da rugosidade	39
6.4.	Modelo de obstáculos/efeitos de esteira.....	40
6.5.	Modelo orográfico.....	40
6.6.	Distribuição de <i>Weibull</i>	41
7.	Cálculo da potência eólica	43
7.1.	Aquisição e processamento de dados	43
7.2.	Obtenção dos dados do vento utilizando os valores de pressão	43
7.2.1.	Altura do geopotencial	43
7.2.2.	Distribuição das velocidades do vento para o Açor a partir dos valores de pressão	45
7.2.3.	Distribuição das velocidades do vento para S. Pedro de Portel a partir dos valores de pressão	47
7.3.	Obtenção dos dados do vento utilizando o nível sigma 0,995	48
7.3.1.	Distribuição das velocidades do vento para o Açor a partir dos valores de nível sigma 0,995.....	49

7.3.2. Distribuição das velocidades do vento para S. Pedro de Portel a partir dos valores de nível sigma 0,995	49
7.4. Obtenção dos dados do vento para 10 metros acima da superfície.....	49
7.5. Dados de vento locais	50
7.5.1. Dados locais do Açor.....	50
7.5.2. Dados locais de S. Pedro de Portel	52
7.6. Cálculo da potência eólica para o ponto do Açor	55
7.6.1. A partir do ponto de pressão.....	55
7.6.2. A partir do ponto do nível sigma 0,995	63
7.7. Cálculo da potência eólica para o ponto de S. Pedro de Portel.....	65
7.7.1. A partir do ponto de pressão.....	65
7.7.2. A partir do ponto do nível sigma 0,995	74
7.7.3. A partir do Ponto de 10 metros.....	76
7.8. Dados de reanálise como a mesma série temporal dos dados locais	78
7.9. Previsões cruzadas	78
7.9.1. Previsão cruzada entre as estações de medição PORT284 e PORT233.....	79
7.9.2. Previsão cruzada entre as estações de medição PORT284 e PORT192.....	83
7.10. Cálculo da potência eólica a partir das séries de reanálise do ECMWF	88
7.10.1. Resultados obtidos para o ponto em estudo no Açor	88
7.10.2. Resultados obtidos para o ponto em estudo em S. Pedro de Portel.....	89
8. Conclusão	95
9. Referências.....	97
Anexo A – Componentes da 2ª Lei de Newton associados a um elemento de volume num fluido.....	101
A.1. Força da Gravidade	101
A.2. Força do gradiente de pressão	101
A.3. Força de Atrito	101
A.4. Força Centrífuga	102
A.5. Força de Coriolis	102
Anexo B – Breve descrição dos sistemas de ventos locais no Sul da Europa.....	107
Anexo C – Origem e Proveniência dos Dados	109
Anexo D – Classificação das variáveis das séries de reanálise do NCEP/NCAR.....	113
D.1. Nível de pressão (<i>Pressure level</i>).....	113
D.2. Superfície (<i>Surface</i>).....	113
D.3. Fluxos de superfície (<i>Surface fluxes</i>)	114
D.4. Outros fluxos (<i>Other fluxes</i>).....	116
D.5. Tropopausa (<i>Tropopause</i>)	116

D.6. Coeficientes Espectrais (<i>Spectral Coefficients</i>).....	116
Anexo E – Sistemas de coordenadas.....	119
E.1. <i>Datum</i> Geodésico	119
E.2. Projecções Cartográficas	119
E.3. Data geodésicos portugueses.....	120
E.4. Sistema UTM	121
Anexo F – Sensor ETM+	123
Anexo G – Projecto CLC2000 para a Europa e Portugal continental.....	127
Anexo H – Variação adimensional dos 17 níveis de pressão	131
Anexo I – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de pressão para a grelha do ponto do Açor	137
I.1. Previsões da Velocidade média.....	137
I.2. Previsões da Densidade de Potência	139
Anexo J – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de nível sigma 0,995 para a grelha do ponto do Açor	141
J.1. Previsões da velocidade média	141
J.2. Previsões da densidade de potência	141
Anexo K – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de pressão para a grelha do Ponto de S. Pedro de Portel.....	143
K.1. Previsões da Velocidade Média.....	143
K.2. Previsões da Densidade de Potência.....	145
Anexo L – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de nível sigma 0,995 para a grelha do ponto de S. Pedro de Portel.....	147
L.1. Previsões da Velocidade Média	147
L.2. Previsões da densidade de potência	147
Anexo M – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir do ponto de nível de 10 metros acima do nível do solo para a grelha do ponto de S. Pedro de Portel	149
M.1. Previsões da velocidade média	149
M.2. Previsões da Densidade de Potência.....	149
Anexo N – Grelhas obtidas a partir de dados de vento locais e de previsões cruzadas da velocidade média e da potência para as Estações de Medição PORT284 e PORT233	151
N.1. Previsões da Velocidade Média.....	151
N.1. Previsões da Densidade de Potência.....	153
Anexo O – Grelhas obtidas a partir de dados de vento locais e de previsões cruzadas da velocidade média e da potência para as Estações de Medição PORT284 e PORT192	155
O.1. Previsões da Velocidade Média.....	155
O.2. Previsões da Densidade de Potência.....	156

Índice de Figuras

Figura 1: O primeiro aerogerador.....	8
Figura 2: Rendimento de alguns Rotores mais utilizados. Guia da Energia, Lisboa 2003	9
Figura 3: Turbina eólica de eixo horizontal de 3 pás	10
Figura 4: Rotor de Darrieus.....	12
Figura 5: Regime de ventos na Europa do Norte. European Wind Atlas, Risø 1989.....	16
Figura 6: Regime de ventos na Europa do Sul. European Wind Atlas, Risø 1989	17
Figura 7: Balão sonda totalmente insuflado. Wikipedia. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Ceiling_balloon.JPG	20
Figura 8: Número de todos os tipos de observações por cada área de 2,5° de latitude-longitude desde 1948 até 1998. The NCEP/NCAR Reanalysis. 1999	22
Figura 9: Grelha de Distribuição 2,5°x2,5° (símbolos vermelhos) e Grelha Gaussiana T62 (símbolos brancos), 192x94. Google Earth®	25
Figura 10: Distribuição dos pontos de reanálise sobre Portugal continental e localização dos locais em estudo. Google Earth®	30
Figura 11: Mapa tridimensional do local em estudo na Serra do Açor, obtido através do <i>Software Surfer</i> ®	31
Figura 12: Mapa do Açor fixo na estação de medição (PORT027). Google Earth®	31
Figura 13: Mapa do Açor fixo no ponto de reanálise. Google Earth®	32
Figura 14: Mapa tridimensional do local em estudo em S. Pedro de Portel para o ponto de pressão, obtido através do <i>Software Surfer</i> ®	33
Figura 15: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando a estação de medição (PORT284) na direcção do ponto de pressão. Google Earth®	34
Figura 16: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando o ponto de pressão orientado na direcção da estação de medição. Google Earth®	34
Figura 17: Mapa tridimensional do local em estudo em S. Pedro de Portel para o ponto de 10 metros, obtido através do <i>Software Surfer</i> ®	35
Figura 18: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando a estação de medição (PORT284) na direcção do ponto de 10 metros. Google Earth®	36
Figura 19: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando o ponto de reanálise de 10 metros orientado na direcção da estação de medição. Google Earth®	36
Figura 20: Exemplos de terreno de rugosidade de classe 0, 1, 2 e 3 da esquerda para a direita. WASP 8 Help Facility and On-line Documentation, Risø 2007.....	38
Figura 21: Redução da velocidade do vento, em percentagem, devido ao efeito de um obstáculo bidimensional. European Wind Atlas, Risø 1989	40
Figura 22: Aspecto da função de densidade da distribuição de Weibull para diferentes valores do parâmetro <i>k</i> . European Wind Atlas, Risø 1989.....	41
Figura 23: Variação da Pressão com a Altitude. Meteorologia e Ambiente, Lisboa 2001	43
Figura 24: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 925 hPa para o ponto do Açor	46
Figura 25: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 850 hPa para o ponto do Açor	46

Figura 26: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 700 hPa para o ponto do Açor	46
Figura 27: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 600 hPa para o ponto do Açor	46
Figura 28: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 925 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel.....	47
Figura 29: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 850 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel.....	47
Figura 30: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 700 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel.....	47
Figura 31: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para os 600 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel.....	48
Figura 32: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para o nível sigma 0,995 para o ponto do Açor.....	49
Figura 33: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para o nível sigma 0,995 para o ponto de S. Pedro de Portel.....	49
Figura 34: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> para 10 metros acima do nível do solo para o ponto de S. Pedro de Portel.....	50
Figura 35: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> dos dados observados na estação de mediação PORT027.....	50
Figura 36: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027.....	50
Figura 37: Rosa dos Potência e distribuição de <i>Weibull</i> calculadas para o local da estação de medição PORT027.....	51
Figura 38: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km ² em torno do ponto em estudo do Açor.....	51
Figura 39: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km ² em torno do ponto em estudo do Açor.....	52
Figura 40: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> dos dados observados na estação de mediação PORT284.....	53
Figura 41: Rosa de potência e distribuição de <i>Weibull</i> dos dados observados na estação de mediação PORT284.....	53
Figura 42: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284.....	53
Figura 43: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km ² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel.....	54
Figura 44: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km ² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel.....	54
Figura 45: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 925 hPa.....	55
Figura 46: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 850 hPa.....	55
Figura 47: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 700 hPa.....	56

Figura 48: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 600 hPa	56
Figura 49: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 925 hPa	56
Figura 50: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 850 hPa	57
Figura 51: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 700 hPa	57
Figura 52: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 600 hPa	57
Figura 53: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	58
Figura 54: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	58
Figura 55: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	59
Figura 56: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	59
Figura 57: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	60
Figura 58: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	61
Figura 59: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	61
Figura 60: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	62
Figura 61: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de nível sigma 0,995.....	63
Figura 62: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do ponto de nível sigma 0,995	63
Figura 63: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	64
Figura 64: Discrepância entre a densidade de Potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor	65

Figura 65: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 925 hPa.....	66
Figura 66: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 850 hPa.....	66
Figura 67: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 700 hPa.....	66
Figura 68: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 600 hPa.....	67
Figura 69: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 925 hPa.....	67
Figura 70: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 850 hPa.....	67
Figura 71: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 700 hPa.....	68
Figura 72: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 600 hPa.....	68
Figura 73: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	69
Figura 74: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	69
Figura 75: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	70
Figura 76: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	70
Figura 77: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	71
Figura 78: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	71
Figura 79: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	72
Figura 80: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	72
Figura 81: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de nível sigma 0,995	74
Figura 82: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do ponto de nível sigma 0,995	74

Figura 83: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	75
Figura 84: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	75
Figura 85: Rosa-dos-ventos e distribuição de <i>Weibull</i> calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros	76
Figura 86: Rosa de Potência e distribuição de <i>Weibull</i> da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do Ponto de 10 metros	76
Figura 87: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 10 metros para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	77
Figura 88: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 10 metros para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel	77
Figura 89: Localização das estações de medição em estudo	79
Figura 90: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT233	79
Figura 91: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT233 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT284	79
Figura 92: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento obtidos no PORT233	80
Figura 93: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT233 a partir de dados de vento obtidos no PORT284	80
Figura 94: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT233	81
Figura 95: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284	81
Figura 96: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT233	82
Figura 97: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284	82
Figura 98: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT192	83
Figura 99: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT192 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT284	83
Figura 100: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento obtidos no PORT192	83
Figura 101: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT192 a partir de dados de vento obtidos no PORT284	84

Figura 102: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT192	85
Figura 103: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284	85
Figura 104: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT192	86
Figura 105: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284	86
Figura 106: Vista da estação de medição PORT284 em S. Pedro de Portel.....	87
Figura 107: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 10 metros	88
Figura 108: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 925 hPa	88
Figura 109: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 850 hPa	89
Figura 110: Distribuição dos pontos de reanálise do ECMWF para o ponto em estudo de S. Pedro de Portel. Google Earth®	89
Figura 111: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado mais a Norte	90
Figura 112: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado mais a Norte	90
Figura 113: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado mais a Norte	90
Figura 114: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado ligeiramente a Norte.....	91
Figura 115: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado ligeiramente a Norte.....	91
Figura 116: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado ligeiramente a Norte.....	91
Figura 117: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado ligeiramente a Sul.....	91
Figura 118: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado ligeiramente a Sul	92
Figura 119: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado ligeiramente a Sul	92
Figura 120: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado mais a Sul	92
Figura 121: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado mais a Sul	92
Figura 122: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado mais a Sul	93

Índice de Tabelas

Tabela 1: Resultados verificados na Grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos por medições locais	52
Tabela 2: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel para o mapa para o ponto de pressão a partir dos dados obtidos por medições locais	55
Tabela 3: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 925 hPa	62
Tabela 4: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 850 hPa	62
Tabela 5: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 700 hPa	63
Tabela 6: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 600 hPa	63
Tabela 7: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados do nível sigma 0,995	65
Tabela 8: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 925 hPa	73
Tabela 9: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 850 hPa	73
Tabela 10: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 700 hPa	73
Tabela 11: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 600 hPa	73
Tabela 12: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados do nível sigma 0,995	76
Tabela 13: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados dos 10 metros acima do nível do solo	78
Tabela 14: Resultados médios obtidos para a grelha de 36 km ² em torno de cada estação de medição (PORT284 e PORT233)	80
Tabela 15: Resultados médios obtidos para a grelha de 36 km ² em torno de cada estação de medição (PORT284 e PORT192)	84

Índice de Gráficos

Gráfico 1: 17 níveis de altura do geopotencial	44
Gráfico 2: Variação média adimensional da altura do geopotencial para os 17 níveis	44
Gráfico 3: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 925 hPa até ao de 10 hPa	45
Gráfico 4: Altura do geopotencial do nível sigma 0,995 em todo o globo	48

Nomenclatura

\vec{a}	Aceleração
a_{cor}	Aceleração de Coriolis
a_n	Componente normal da aceleração (Aceleração Centrípeta)
a_t	Componente tangencial da aceleração (Aceleração Tangencial)
A	Área
A	Factor de escala da distribuição de Weibull (Secção 6.6)
f	Parâmetro de Coriolis
$f(u)$	Frequência de ocorrência da velocidade do vento
\vec{F}	Resultante das forças aplicadas a um corpo
\vec{F}_a	Força de Atrito
\vec{F}_{cf}	Força Centrífuga
\vec{F}_{cor}	Força de Coriolis
\vec{F}_p	Força do gradiente de pressão
g	Módulo da aceleração da gravidade
\vec{g}	Aceleração da Gravidade
G	Vento Geostrófico
h	Altura do obstáculo
k	Factor de forma da distribuição de Weibull
m	Massa
p	Pressão
r	Raio
R_T	Raio da Terra
u	Velocidade do vento
$u(z)$	Velocidade do Vento à cota z
v	Módulo da velocidade
z	Cota vertical acima do nível do solo (altura)
z_0	Parâmetro de rugosidade superficial
z_{0j}	Parâmetro de rugosidade superficial na escala considerada
α	Ângulo entre os ventos próximos da superfície e o vento geostrófico
ρ	Massa específica ou densidade do ar
ϕ	Latitude
Ω	Velocidade Angular da Terra

Lista de Acrónimos

AMSU	Advanced Microwave Sounding Unit
BT	Bathythermograph
BUFR	Binary Universal Format Representation
CDAS	Climate Data Assimilation System
CLC2000	CORINE Land Cover 2000
COADS	Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set
CORINE	Co-ordination of Information on the Environment
ECMWF	European Center for Medium-range Weather Forecasts
ED50	European Datum de 1950
EEA	European Environment Agency
ERL	Environmental Research Laboratories
FGGE	First GARP Global Experiment (1979)
GARP	Global Atmospheric Research Program
GATE	GARP Atmospheric Tropical Experiment
GMT	Tempo Médio de Greenwich (do inglês Greenwich Mean Time)
GTS	Global Telecommunication System
HIRS	High Resolution Infrared Sounder
ICSU	International Council of Scientific Unions
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
IR	Infravermelho (do inglês Infrared)
JMA	Japanese Meteorological Agency
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCDC	National Climate Data Center
NCEP	National Centers for Environmental Modeling (anteriormente NMC)
NMC	National Meteorological Center (actualmente NCEP)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONU	Organização das Nações Unidas
RAOB	RAwinsonde OBservation
SIRS	Satellite Infrared Spectrometer
SSM/I	Special Sounding Microwave/Imager
TIROS	Television Infrared Observation Satellite
TOVS	TIROS-N Operational Vertical Sounder
TWERLE	Tropical Wind, Energy Conversion and Reference Level Experiment

UE	União Europeia
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USAF	United States Air Force
UTC	Tempo Universal Coordenado (do inglês Universal Time, Coordinated)
UTM	Universal Transverse Mercator
VTPR	Vertical Temperature and Pressure Radiometer
WAsP	Wind Atlas Analysis and Application Program
WGS84	World Geodetic System de 1984
WMO	World Meteorological Organization

1. Introdução

1.1. Apresentação

O consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono estão a aumentar, tal como desde o início da Revolução Industrial, com uma grande aceleração. Como implicação desta atitude tomada pela Humanidade, o clima mostra-se em alteração. O aquecimento global dos últimos cinquenta anos quase duplicou de intensidade em relação aos últimos cem anos e o nível das águas do mar subiu dezassete centímetros no Século XX.

Chove mais no Leste do Continente Americano e no Norte da Europa e muito menos no Sul da Europa, África e Ásia. Desde a década de 70 que aumentou a actividade dos ciclones no Atlântico Norte e no ano de 2005 apareceu o primeiro furacão na costa Ocidental da Europa, o *Vince*, que entrou no Norte de Portugal já como tempestade tropical.

O painel intergovernamental de cientistas criado pela ONU (Organização das Nações Unidas) estabeleceu em 2007, que as temperaturas do planeta deverão subir neste século, entre 1 e 6 graus Centígrados e que em geral, os fenómenos meteorológicos vão ficar mais extremos: chuvas mais fortes, secas mais graves, ventos mais violentos, tempestades mais devastadoras [1]. Tudo isto é causado pela enorme dependência nos combustíveis fósseis e nas emissões de dióxido de carbono e gases de efeito de estufa provocados pela sua queima, que são libertados para a atmosfera.

Para tentar travar esta dependência dos combustíveis fósseis e as implicações que eles causam, os países europeus procederam à assinatura do tratado de Quioto para a definição de limiares de produção de gases de efeito de estufa para o período 2000/2010. Para a sua concretização, entre outros objectivos, a União Europeia (UE) definiu como meta para 2010 que 22% do total da energia eléctrica consumida na UE tenha origem em fontes renováveis de energia. Para Portugal a meta foi mais ambiciosa, devendo 39% dos consumos eléctricos nacionais em 2010 ser desta origem (revista pelo Governo, em 2007, para 45%).

Para tentar atingir este objectivo, são duas as fontes energéticas que sobressaem, a hídrica e a eólica, tentando também, mais recentemente, colocar a energia solar e a de biomassa num patamar elevado e existindo alguns projectos pioneiros para a energia proveniente das ondas.

Há muito que a energia eléctrica é transformada em aproveitamentos hidroeléctricos, sendo esta a fonte energética renovável com maior maturidade. Porém, a instalação deste tipo de estruturas tem vindo a sofrer grandes limitações devido aos impactos ambientais locais que implicam.

Por oposição, a energia eólica, não poluente e de baixo impacto ambiental, é encarada favoravelmente pelas populações locais pelos benefícios económicos e de aumento de qualidade de vida que lhes proporciona. Estas características, associadas aos apoios conferidos a nível financeiro pelo estado Português, têm levado a um grande crescimento da potência eólica instalada em Portugal [2].

1.2. Enquadramento

A estimativa do potencial eólico de um local é actualmente conseguida por recurso a medições locais das características do vento. Para tal, são instaladas na área em análise estações anemométricas equipadas com sensores de medição da velocidade e direcção do vento.

Por razões que se prendem com a variabilidade temporal do recurso eólico, as campanhas de medição devem prolongar-se por um período tão extenso quanto possível e nunca inferior a um ano [2].

Os dados de vento locais, tipicamente variando de 1 até 5 anos, são curtos, comparativamente com os períodos normais para a definição de média climática de 20 até 30 anos. A variação anual do regime de ventos, se tal não for contabilizada, acrescenta uma incerteza na avaliação do recurso energético local e pode conduzir a uma má avaliação. Por esse motivo, o uso de dados de vento de longa data é um antigo problema do recurso eólico [3].

Por essa razão, quando se pretende instalar um parque eólico é necessário, entre outros diversos estudos, proceder ao das características eólicas locais e no caso de não existirem dados de vento locais é necessário proceder à instalação de uma estação de medição e à análise dos dados pelo menos durante um ano, para se obterem resultados. Este processo, para além de atrasar todo um investimento fundamental para o ambiente, também acarreta custos, pois é necessário instalar a estação de medição, proceder à sua manutenção e tratar os dados que dela provêm.

Esta é a principal finalidade deste estudo de investigação: verificar o quão viável é utilizar dados de vento provenientes de outras fontes e de outros locais, para se proceder à estimativa preliminar da potência eólica, utilizando para tal, locais de complexidade orográfica bastante diferente.

1.3. Objectivos

Pretende-se estudar a possibilidade de efectuar a avaliação preliminar do potencial eólico de uma área, visando a eventual construção de parques de aerogeradores, sem que se disponha de dados das características do vento recolhidos localmente com esse fim específico.

Tenciona-se que os resultados permitam a identificação dos locais potencialmente mais interessantes para a localização dos aerogeradores, elaborando mapas de distribuição da velocidade média do vento, bem como para a instalação de estações de medição que permitam uma avaliação mais rigorosa do regime de ventos e, consequentemente, do potencial eólico.

De entre as fontes de informação sobre as características do vento, deverá ser investigado quais as mais adequadas à utilização nos modelos de avaliação do recurso eólico mais comuns (no caso deste trabalho o WAsP).

O estudo deverá ser levado a cabo comparando, para um conjunto de áreas das quais se disponha de informação local com qualidade e representatividade temporal, os resultados da utilização de tais modelos utilizando essa informação e informação de outras proveniências.

1.4. Organização

O capítulo 2 é um capítulo introdutório, no qual se descreve um pouco o impacto que a energia tem na História da Humanidade, desde o mais simples uso da tracção animal, até ao mais recente uso dos combustíveis fósseis. Faz-se também uma breve descrição da história da energia eólica e as modificações que os seus engenhos foram tendo até aos dias de hoje, e quais as suas vantagens e desvantagens quando comparados uns com os outros.

No capítulo 3 encontra-se a teoria que existe por trás da formação do vento. São identificadas cada uma das suas componentes. É também apresentado e caracterizado o regime de

ventos que ocorre na Europa, que é bastante diferente se for analisada a zona Norte ou a zona Sul.

No capítulo 4 são descritas as séries de reanálise do NCEP/NCAR: como surgiram, como estão organizadas, problemas que advieram durante a sua concepção e a classe a que cada um dos dados disponíveis pertence.

No capítulo 5 são abordados os locais em estudo e são analisados alguns dos seus pormenores. No final deste capítulo são estudados os problemas e as interferências que a rugosidade traz à análise do terreno.

No capítulo seguinte é descrita a base teórica por trás dos modelos utilizados para o programa de simulação WAsP.

No capítulo 7, o mais extenso deste trabalho, são apresentados os resultados obtidos. É feita uma análise e comparação entre os resultados obtidos a partir dos dados de reanálise e os obtidos a partir de dados de vento locais; são ainda elaborados outros cálculos, para tentar melhorar e descobrir a origem dos resultados obtidos.

No final encontra-se a conclusão final deste trabalho, onde são comparados resultados e se apresenta uma análise crítico-reflectiva sobre este mesmo estudo. São também apresentadas algumas propostas de trabalho futuro para tentar melhorar a abordagem aqui efectuada.

2. A Energia

2.1. A Energia, o Homem e a História

O uso de fontes de energia, para além do corpo humano, sempre caracterizou a cultura humana, muito tempo antes de se ter entrado na era industrial. Estima-se que há cerca de meio milhão de anos, o homem começou a utilizar o fogo proveniente da queima da madeira, principalmente por três razões: para seu próprio aquecimento, para iluminação e para cozinhar. Mais tarde, o fogo foi utilizado para extrair e trabalhar metais e para secar barro. O combustível era utilizado, a baixas temperaturas para o conforto das pessoas, e a altas temperaturas para produzir iluminação, criar mudanças físicas e químicas nos materiais, para os tornar mais úteis e mais fáceis de trabalhar.

Os animais começaram a ser usados para tracção desde os primórdios da agricultura, à volta de 10 ou 12 mil anos atrás; o vento foi utilizado para movimentar os barcos no Mediterrâneo entre 5 e 6 mil anos atrás, enquanto os moinhos de vento e de água são usados desde há 3 mil anos e os moinhos de marés já eram utilizados pelos normandos. Então, as forças provenientes da Natureza são usadas desde há muitos séculos para o movimento de objectos, tanto para transporte, como para produção.

Estas são as três categorias de uso de energia: baixas temperaturas para conforto humano, altas temperaturas para iluminação e para o trabalho de materiais, e força aplicada para criar movimento. Estas são ainda hoje, as categorias dominantes da energia requeridas pelo homem.

Um grande número de civilizações (com elevados sistemas de produção e trocas comerciais, cidades de arquitectura avançada para a época em questão, arte evoluída e avançada, e sistemas sociais bastante elaborados) foi criado e desmoronou-se apenas com o uso de energia proveniente do corpo humano, animais, madeira, vento, água e marés. Estas fontes ainda hoje são predominantes em algumas regiões do globo.

A grande mudança para o actual uso e dependência dos combustíveis fósseis ocorreu, e está intimamente ligada à Revolução Industrial. Este grande marco da História Mundial pode ser dividido em três períodos:

- Antes da ocorrência desta Era, o uso de moinhos de água era bastante frequente, construídos ao longo dos cursos de água com corrente suficiente para os movimentar para o fim específico. Com a invenção da máquina a vapor, que queimava coque e carvão, os combustíveis começaram a substituir a água como principal fonte de energia. No século XIX, a combinação da indústria do carvão que providenciava combustível, da indústria de fundição do ferro que providenciava materiais, e as máquinas a vapor que providenciavam transporte, fez com que estas se enriquecessem umas às outras e deu-se então, início à industrialização. Neste tempo, os minérios de ferro e carvão eram abundantes, os processos industriais brutos e ineficientes eram o “futuro”, e os efeitos ambientais eram completamente ignorados.
- Nos finais do século XIX e inícios do século XX, verificou-se o desenvolvimento da electricidade e dos motores de combustão interna; o petróleo e o gás surgiram como novos combustíveis e, com o desenvolvimento da indústria química, conseguiram-se criar novos combustíveis utilizando o petróleo como matéria-prima. Nessa altura, obtinha-se a energia necessária queimando petróleo ou gás directamente nos motores, ou indirectamente através da electricidade que era obtida pela

queima de carvão, petróleo ou gás. Novamente, foi o mútuo esforço entre a disponibilidade de combustíveis baratos, materiais mais sofisticados, (ligas metálicas e polímeros) e o transporte, que globalizaram, ainda mais, a industrialização.

- Em meados do século XX, observou-se um aumento da rede de distribuição da electricidade, ao ponto de esta ser quase universal nos países industrializados; houve também um aumento dos gasodutos, mas numa escala mais reduzida. Com a abertura dos maiores poços de petróleo no Médio Oriente e no Norte de África, a cultura industrial ficou completamente dependente do petróleo e o desenvolvimento dos recursos nucleares para gerar electricidade, após a II Guerra Mundial, surgiu como um poderoso recurso energético. Nesta altura, os combustíveis fósseis ainda eram baratos e abundantes, os processos industriais continuavam a ser brutos e ineficientes, assim como os efeitos ambientais, ainda eram, completamente ignorados, tal como no início da Era Industrial.

Actualmente, inícios do século XXI, os países que estiveram na vanguarda da Revolução Industrial, estão numa etapa a que muitos chamam “era pós-industrial”. O fabrico industrial continua a crescer, mas já não é o maior elemento da actividade económica. Os serviços, principalmente os processos de comunicação e informação, são as actividades dominantes, acompanhados com o desenvolvimento das tecnologias que os suportam.

Houve também, um enorme crescimento em conhecimentos técnicos e científicos a todos os níveis. Desde os finais dos anos 60 que há um crescimento do reconhecimento do impacto ambiental das sociedades industrializadas, especialmente provenientes da queima de combustíveis fósseis. Um crescimento na compreensão de uma vasta área de técnicas para fazer com que os processos industriais fossem mais eficientes, assim como a necessidade de se recorrer a fontes renováveis de energia, foi aumentada com a crise do petróleo nos 70. Maiores reduções no uso dos combustíveis, foram sendo vistas como tecnicamente possíveis, simplesmente dando mais atenção aos aspectos energéticos dos edifícios, equipamentos e processos industriais, mas também através de sofisticados processos de controlo, materiais pouco consumidores de energia, processos biológicos e muitos outros processos que apenas requeriam um pouco de esforço e dedicação [4].

2.2. O papel das fontes renováveis de energia na sociedade actual

Há quem afirme que no início da segunda metade deste século, as fontes renováveis de energia terão que contribuir com uma fracção pelo menos igual à da energia fóssil convencional. Este raciocínio baseia-se no actual impacto sobre o ambiente, cada vez mais evidente, que este tipo de fontes de energia provoca e com as crescentes necessidades energéticas, associadas ao desenvolvimento da população, assim como o elevado crescimento demográfico. Esta ideia, também se deve ao facto, de os combustíveis fósseis serem finitos e, dadas as actuais reservas conhecidas, estima-se que o pico de extracção está a decorrer actualmente e ao ritmo do actual consumo, as reservas de petróleo só durarão mais 40 a 50 anos. Mas também existem outros factores que influenciam o uso do petróleo, tal como as suas reservas se encontram concentradas num pequeno grupo de países, onde, em muitos deles, existe uma situação política bastante instável e um outro factor bastante importante é, que o preço deste combustível, é resultado de um complicado jogo de interesses que por vezes leva a que os preços atinjam valores bastante elevados; facto que se está a verificar na actualidade em que o preço do barril de petróleo está a atingir valores *record*.

Apesar de o petróleo ser o combustível fóssil mais utilizado, existem também outros combustíveis deste tipo com reservas maiores, como é o caso do carvão, que se prevê que as suas reservas durem cerca de 200 anos, aos actuais ritmos de consumo, e o gás natural com reservas um pouco maiores que as do petróleo. Mas cada vez mais, se dá mais importância ao impacto ambiental, que apesar de nem toda a população lhe dar a devida consideração, este planeta é “casa de todos nós”.

Uma alternativa/solução a estes problemas, e que está a ter cada vez mais aceitação por parte da população e tem merecido grandes avanços tecnológicos, são as fontes renováveis de energia, que estão em grande desenvolvimento e implantação em Portugal [5].

Uma destas fontes renováveis de energia que está em grande ascensão no nosso país é a energia eólica, devido, entre outros factores, à elevada disponibilidade global desta fonte de energia e ao elevado desenvolvimento desta tecnologia, quando comparado com outras, como por exemplo a energia das ondas e marés, e energia geotérmica; isto deve-se, em grande parte, ao custo de implementação e manutenção não ser elevado e ao fácil desmantelamento e reciclagem dos componentes, comparativamente com a energia hídrica que implica um elevado investimento e impactos ambientais que necessitam de um estudo bastante aprofundado.

2.3. A história da energia eólica

A história da energia eólica mostra a evolução desde o simples uso de engenhos bastante leves e artesanais, passando pelos engenhos mais robustos e pesados, movidos apenas pela força de arrasto do vento, até ao desenvolvimento de engenhos aerodinamicamente bastante eficientes, usando tanto a força de arrasto como a força de sustentação. Esta última componente da força proveniente do vento era completamente ignorada pelos povos que começaram a utilizar esta energia. Inicialmente, a energia eólica era usada para a navegação dos barcos, que foi muito importante para, mais tarde, se desenvolver em moinhos de vento; os navegadores conseguiram compreender a força de arrasto, apesar de não terem conhecimentos físicos para explicar como ou o porquê do seu funcionamento.

Pensa-se que a energia proveniente do vento já é utilizada pelo homem desde há cerca de 5 ou 6 mil anos, e que o primeiro povo a utilizá-la foram os egípcios para navegar no rio Nilo. Os primeiros moinhos de vento datam de há 3 mil anos, e foram concebidos para “automatizar” a tarefa de moer cereais e elevar água para irrigação. O primeiro moinho de vento conhecido e documentado foi desenvolvido pelos persas e era de eixo vertical. Este tipo de moinhos era também utilizado na China e há quem afirme que tenha sido este povo, a inventar os moinhos de vento, apesar da primeira documentação chinesa deste tipo de engenhos só tenha surgido em 1219, escrita pelo estadista chinês Yehlu Chhu-Tshai.

Os primeiros moinhos de vento a aparecer na Europa Ocidental eram de eixo horizontal. A razão para esta súbita evolução do eixo vertical persa é desconhecida, mas o facto de os europeus usarem rodas de água de eixo horizontal, que aparentemente serviram de modelo para os moinhos de vento, pode providenciar parte da resposta. Uma outra razão pode ter sido a maior estabilidade estrutural, em relação aos moinhos de eixo vertical. Os primeiros documentos e ilustrações europeias, mostram um moinho de quatro pás, montado num poste central que já era tecnologicamente mais avançado que os moinhos persas. Estes moinhos usavam uma engrenagem primitiva de madeira, para transmitir o movimento do eixo horizontal para o eixo vertical e fazer assim movimentar a mó.

Nos finais do século XIV, os alemães resolveram modificar as torres dos moinhos, que apareceram uns anos antes ao longo de todo Mar Mediterrâneo. Essencialmente, eles fixaram o eixo do moinho no topo de uma torre com múltiplos andares, em que o andar superior moía o grão, o seguinte removia o debulho, o próximo armazenava o grão e o inferior servia de habitação para o moleiro e a sua família. O eixo do rotor tinha que ser orientado na direcção do vento, manualmente, puxando uma alavanca na parte traseira do moinho. Obter a melhor direcção do vento, assim como proteger o moinho dos estragos recolhendo as velas do rotor durante as tempestades, eram um dos principais trabalhos do moleiro.

Uma das grandes melhorias deste moinho europeu era a posição aerodinâmica das velas, que aproveitavam a força de sustentação do vento, o que permitia um aumento da velocidade do rotor.

Este processo de desenvolvimento das velas dos moinhos, aumentando imenso a sua eficiência, demorou cerca de 500 anos. Quando todo este processo ficou completo, as velas dos moinhos tinham todas as características mais importantes reconhecidas pelos *designers* mais modernos, como sendo cruciais para uma pá eólica moderna eficiente.

Com o início da Revolução Industrial, os moinhos, bastante utilizados até então, entraram em declínio com o aparecimento da máquina a vapor [6].

O uso de moinhos de vento para gerar electricidade, chamados de aerogeradores, foi utilizado pela primeira vez, no ano de 1888, em Cleveland nos Estados Unidos, com um gerador de 12 kW DC, construído por Charles F. Brush (Figura 1).

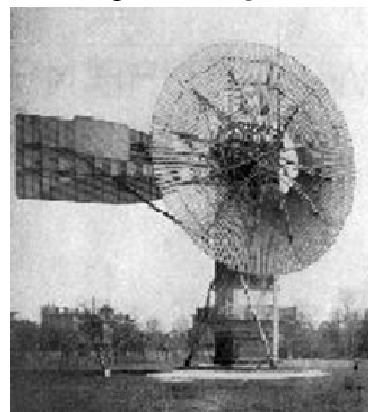


Figura 1: O primeiro aerogerador

Esta máquina possuía um rotor de 17 metros de diâmetro, com múltiplas pás e uma cauda enorme para o direccionar na direcção do vento. Apesar de ter sido bastante bem sucedido nos primeiros 20 anos, este primeiro aerogerador demonstrou algumas limitações.

Em 1891, o dinamarquês Dane Poul La Cour, desenvolveu um aerogerador que incorporava os princípios aerodinâmicos usados nos melhores moinhos de vento europeus. Este aerogerador conseguia maiores velocidades que o aerogerador de Brush, fazendo com que se obtivessem melhores resultados na geração de electricidade. Pouco antes da 1.ª Grande Guerra, estes aerogeradores de 25 kW, estavam espalhados um pouco por toda a Dinamarca, mas o baixo preço da electricidade gerada por combustíveis fósseis, fez com que esta tecnologia fosse posta de parte.

Várias experiências foram elaboradas ao longo deste século, mas uma de grande relevo foi realizada em 1931, na antiga URSS, em que se colocou um aerogerador de 100 kW e 30 metros de diâmetro, durante 2 anos na costa do Mar Cáspio, que gerou 200 000 kWh de electricidade. Subsequentes a esta experiência, várias outras foram realizadas nos Estados Unidos, Dinamarca, França, Alemanha e Reino Unido, durante o período de 1935-1970, mostrando que os aerogeradores em grande escala poderiam funcionar. Mas durante grande parte do século XX, houve pouco interesse nesta tecnologia, que praticamente só era utilizada para carregar baterias em habitações isoladas; porém, era logo abandonada quando a rede eléctrica era estendida a estes locais mais remotos.

Com a crise do petróleo dos anos 70, foram criados fundos pelos governos de vários países para o desenvolvimento desta tecnologia. Nos Estados Unidos, em 1975, foram construídos uma série de protótipos de turbinas, inicialmente com um diâmetro de 38 metros e 100 kW de potência, para em 1987 a potência ser de 2,5 MW e o diâmetro de 97,5 metros. Desenvolvimentos deste género, também foram feitos no Reino Unido, Alemanha e Suécia.

Ao longo deste desenvolvimento, houve bastantes incertezas em relação à melhor e mais eficiente arquitectura dos aerogeradores. Na secção seguinte os diversos tipos de turbinas serão explicados, contudo o modelo que teve maior implantação a nível mundial foi a turbina de 3 pás, também conhecida como “turbina dinamarquesa” (Figura 3) [7].

2.4. Os diversos tipos de rotor ao longo da história

Os rotores podem ser divididos em dois baseados no tipo de eixo em que este roda: rotores de eixo horizontal e de eixo vertical, sendo este último menos utilizados actualmente. A Figura 2 é mostra o rendimento de alguns rotores mais utilizados e observam-se alguns contrastes: o pesado rotor *Savonius* e as turbinas de múltiplas pás funcionam melhor quando a velocidade periférica das suas pás é aproximadamente igual à velocidade do vento, enquanto os outros tipos de rotores, funcionam com velocidades periféricas até 10 vezes a velocidade do vento que as acciona [8].

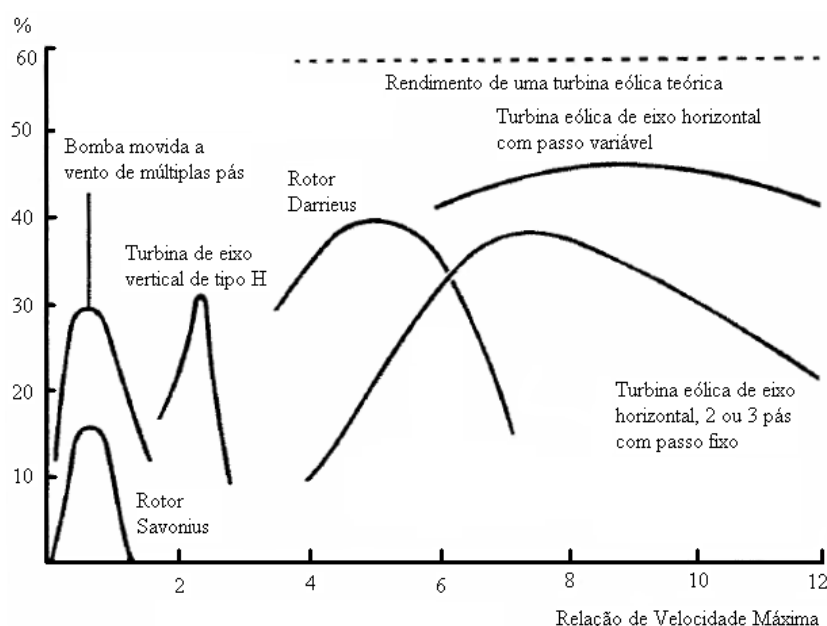


Figura 2: Rendimento de alguns Rotores mais utilizados. Guia da Energia, Lisboa 2003

2.4.1. Rotores de eixo horizontal

Antes de ser referido quais os rotores de eixo horizontal mais utilizados ao longo da história e quais as suas principais características, vão ser apresentadas quais as grandes vantagens e desvantagens deste tipo de rotores.

As principais vantagens resumem-se a:

- As pás encontram-se dispostas em torno do centro de gravidade da turbina, ajudando assim na sua estabilidade;

- A possibilidade das pás torcerem, faz com que se consiga um melhor ângulo de ataque. Permitindo que o ângulo de ataque seja controlado, faz com que a turbina consiga aproveitar maior quantidade de energia proveniente do vento para cada altura do dia e para cada estação;
- A possibilidade de fazer rodar as pás do rotor durante uma tempestade, para minimizar, desta forma, os estragos que possam ser provocados;
- Nalguns locais em que o expoente de perfil vertical (*shear factor*) é mais elevado, torres maiores conseguem estar sujeitas a ventos mais fortes, fazendo com que a potência aproveitada suba significativamente.

Como grandes desvantagens encontram-se as seguintes:

- Este tipo de rotores tem dificuldade em operar perto do chão devido à grande turbulência do vento;
- Torres de grandes dimensões e pás superiores a 90 metros de comprimento são de difícil transporte, fazendo com que o custo deste, aumente de maneira significativa;
- Além das dificuldades de transporte, torres de grandes dimensões precisam de guias de grandes dimensões e trabalhadores bastante qualificados, o que faz aumentar, ainda mais, o seu custo de instalação;
- As torres eólicas com este tipo de rotor que se encontram em zonas de altitude mais baixa e que o vento possa sofrer da interferência do relevo à volta, estão sujeitas a elevadas solicitações devido à turbulência, o que as pode levar à ruptura por fadiga ou causar o colapso, devido a estas não estarem preparadas par as solicitações estruturais a que estão sujeitas [8] [9].

É apresentada em seguida a turbina eólica de eixo horizontal com passo fixo e com passo variável, assim como as suas características, pois este é o rotor de eixo horizontal mais relevante e o mais utilizado em todo o mundo. Este tipo de turbinas tem o rotor, usualmente com três pás, e o aerogerador no cimo da torre (Figura 3). Tipicamente, precisa de ser orientado na direcção do vento e para isso, nas turbinas mais robustas, existe um sensor acoplado a um servo motor que faz rodar a *nacelle* para a direcção pretendida.



Figura 3: Turbina eólica de eixo horizontal de 3 pás

A principal diferença destes dois tipos de turbina, deve-se ao facto de existir ou não variação do passo das pás para controlo da velocidade, potência e eficiência.

A velocidade do rotor, assim como o controlo de potência têm que ser controlados por três razões:

- Para capturar e obter maior energia proveniente do vento;
- Para proteger o rotor, o gerador e o equipamento electrónico de sobrecargas, quando a velocidade do vento é muito elevada, principalmente com tempo tempestuoso;
- Para manter o rotor parado e controlado, quando o gerador é desligado acidentalmente ou para manutenção, caso contrário pode danificar os equipamentos [10].

Para a regulação da potência, mesmo quando a velocidade permanece constante, existem as seguintes categorias:

- Controlo de alinhamento (*yaw control*), em que o eixo do rotor é rodado para fora da direcção do vento, quando este excede a velocidade máxima permitida pelo fabricante, sendo apenas utilizado em turbinas muito pequenas;
- Variação activa do passo das pás (*active pitch control*), que tal como o nome indica, este método faz variar o passo das pás com a variação da velocidade do vento, diminuindo e regulando desta forma a velocidade do rotor;
- Descolamento aerodinâmico (*stall control*), que é um dos métodos mais simples para controlo da velocidade do rotor. Neste tipo de controlo, as pás são aerodinamicamente desenhadas para quando existirem velocidades elevadas do vento, estas entrarem em perda, ou seja, aproveitarem apenas uma parte da força disponibilizada pelo vento.
- Descolamento activo das pás (*active stall control*). Neste método de controlo da potência, quando a velocidade do vento excede os valores limites de segurança, as pás sofrem uma rotação que ficam em posição de “bandeirinha”. Neste método, a turbina necessita de ser reiniciada manualmente após as rajadas abrandarem [7] [10].

A diferença do rendimento destas duas turbinas, observado na Figura 2, deve-se ao facto de se conseguir aproveitar uma maior quantidade de energia proveniente do vento, pois o seu passo vai sendo modificando à medida que as condições do vento se vão alterando, possibilitando assim, que este seja “otimizado” para cada situação.

2.4.2. Rotores de eixo vertical

Tal como foi feito para os rotores de eixo horizontal, vão ser apresentadas de seguida as principais vantagens e desvantagens deste tipo de rotores. As vantagens de maior importância são as seguintes:

- A manutenção é mais fácil, devido ao facto de as partes mais importantes estarem localizadas perto do solo;
- Como as pás do rotor são verticais, o dispositivo de controlo do alinhamento não é necessário, reduzindo assim o seu custo;
- O *design* das pás deste tipo de rotor faz aumentar a aerodinâmica, ao mesmo tempo que diminui a força de arrasto tanto a pressões baixas como a pressões elevadas;
- Não precisa de uma torre única para a sustentar, como os rotores de eixo horizontal, por isso é menos dispendiosa e mais forte, quando existem ventos fortes junto ao solo;

Como principais desvantagens encontram-se as seguintes:

- A grande maioria destes rotores necessita de ser instalado num local relativamente plano;
- Têm um baixo binário de arranque, necessitando alguns deles, de energia exterior para começar o seu movimento de rotação;
- Como os componentes deste tipo de rotores se encontram no solo, também estão colocados debaixo da pesada estrutura, o que pode fazer com que alguns componentes de maiores dimensões sejam de difícil substituição em caso de avaria, podendo até ser necessário desmantelar parte da estrutura se esta não tiver sido projectada da forma mais adequada.

Os rotores de eixo vertical mais utilizados são os seguintes:

➤ Rotor Darrieus

Este tipo de rotor foi desenhado e patenteado pela primeira vez em 1927, pelo engenheiro aeronáutico Francês Georges Jean Marie Darrieus (Figura 4).



Figura 4: Rotor de Darrieus

Completamente diferente das turbinas convencionais, possui uma boa eficiência, mas tem como desvantagem precisar de um binário arranque exterior, devido ao seu baixo binário de arranque. Nalgumas aplicações é utilizado um Rotor de Savonius no seu interior, mas também é usual o arranque ser feito de forma eléctrica.

Como o rotor e as partes eléctricas estão colocadas na parte inferior, a sua manutenção é muito mais prática, além de permitir uma variabilidade de aplicações eléctricas e mecânicas maior que as restantes turbinas, mas em contrapartida ocupa uma maior área de terreno o que pode ser uma grande desvantagem quando instalada em terrenos agrícolas.

Este engenhoso rotor com as suas pás em lâmina curvada, faz com que a sua durabilidade seja maior que os rotores de eixo horizontal, e tal como outros rotores pode ser aplicada com mais de duas pás [11].

2.4.3. Turbina eólica teórica

Analisando a Figura 2, verifica-se que o rendimento máximo que se consegue obter é por volta dos 60%. Sendo este o rendimento teórico, também conhecido por limite de Betz.

O princípio de funcionamento de uma turbina baseia-se no aproveitamento de parte da energia cinética associada ao movimento de uma massa de ar. Há, no entanto, um processo intermédio de conversão de energia cinética em pressão, acompanhando a diminuição gradual da velocidade imposta pela presença da turbina. Na passagem pelo rotor dá-se uma queda brusca da pressão, de tal forma que à saída o seu valor é mais baixo que o da pressão do meio circundante. A jusante do rotor a pressão cresce gradualmente até atingir de novo o valor da pressão atmosférica, e a velocidade diminui segundo um processo de conversão idêntico ao que ocorre a montante da turbina. Entre dois pontos afastados, um a montante e outro a jusante do rotor, os valores da pressão estática são iguais, verificando-se uma diminuição da energia cinética.

Este mecanismo descrito explica a redução de energia cinética sofrida pelo escoamento, mas nada adianta em relação à forma como esse diferencial energético é aproveitado pela turbina. Como é lógico, não se pode converter toda a energia cinética do vento em potência útil, caso contrário a velocidade do vento após a passagem pelo rotor seria anulada e o escoamento pararia, não havendo mais transporte de energia. Esta potência que um rotor consegue extrair do vento tem um limite de, aproximadamente, 59% da energia do vento, sendo este o limite de Betz que é um valor teórico [12].

3. O vento

A energia eólica é uma forma da energia solar, uma vez que é a radiação solar que, indirectamente, provoca a circulação do ar. Mas esta circulação do ar, a que chamamos vento, é muito variável, uma vez que não existem, normalmente e de uma maneira geral, ciclos diurnos ou anuais claros, e é bastante frequente verificarem-se variações rápidas da sua velocidade e direcção.

3.1. Forças associadas a uma partícula de ar

O vento é uma movimentação de ar, que pode ser estudado recorrendo às leis da Dinâmica, aplicadas a um fluido. No caso de um corpo rígido ou de uma partícula material, recorre-se à 2ª Lei de Newton:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

onde \vec{F} é a resultante de todas as forças externas aplicadas sobre o corpo, m a sua massa respectiva e \vec{a} a sua aceleração. Esta mesma lei, também pode ser aplicada a um fluido, desde que se considere que está dividido em elementos de volume infinitesimais, sendo cada um deles caracterizado por um único valor de \vec{F} e \vec{a} . É sabido que num fluido, os valores da velocidade ou da densidade variam de ponto para ponto e de instante para instante, então é necessário tratar cada um destes elementos infinitesimais, como uma partícula material perfeitamente identificada.

Para calcular a evolução de um corpo rígido ou de uma partícula material recorrendo à 2ª Lei de Newton, é necessário conhecer todas as forças exteriores aplicadas, que no caso de um elemento de volume num fluido são cinco: a força da gravidade ($m\vec{g}$), a força do gradiente de pressão (\vec{F}_p), força de atrito (\vec{F}_a), força centrífuga (\vec{F}_{cf}) e força de coriolis (\vec{F}_{cor}). Então para este caso, a equação (1) pode ser escrita da seguinte forma:

$$m\vec{g} + \vec{F}_p + \vec{F}_{cf} + \vec{F}_{cor} + \vec{F}_a = m\vec{a} \quad (2)$$

Cada uma destas componentes da 2ª Lei de Newton associadas a um elemento de volume num fluido é explicada com mais pormenor no Anexo A.

É importante referir que existe uma grande assimetria entre o movimento vertical e o movimento horizontal. Por esta razão quando se fala em vento está-se quase sempre a referir ao movimento horizontal do ar [13].

3.2. O regime de Ventos Europeu

Na secção anterior foi explicado quais as forças a que estava sujeita uma partícula de ar na atmosfera e foi dado ênfase aos fenómenos que geram o vento à escala planetária, sendo nesta secção, dada importância ao regime de ventos verificado na Europa. Este é maioritariamente influenciado por três grandes factores:

- A elevada diferença de temperaturas entre o ar Polar a Norte e o ar Subtropical a Sul
- A distribuição de terreno e água, com o Oceano Atlântico a Oeste, a Ásia a Este e o Mar Mediterrâneo e a África, a Sul.

- As grandes barreiras orográficas, como por exemplo os Alpes, os Pirenéus e a cadeia de montanhas Escandinava

Uma grande característica dos ventos que se verificam na Europa é o regime de ventos que existe a Norte da latitude 40° N, consistindo maioritariamente em ciclones e anticiclones, movendo-se em direcção a Este ou Nordeste sobre o Oceano Atlântico em direcção à Europa. Estas fortes movimentações de ar podem, em certas alturas, ser sentidas na maior parte da Europa, mesmo no Mar Egeu, mas normalmente, quando os ciclones se movimentam do oceano para o continente estes são enfraquecidos. À medida que se afasta do Oceano Atlântico a sua influência vai sendo cada vez menor e outros efeitos vão prevalecer.

Então, sob o ponto de vista da energia eólica, podem ser distinguidos dois tipos de regimes climáticos de ventos na Europa: o que ocorre nas zonas onde a potência convertida do vento é predominantemente dos ciclones que se movem para Este, provenientes do Oceano Atlântico, e o que surge nas zonas em que a potência eólica é devida apenas em parte a estes ciclones.

A área em que predomina o primeiro regime de ventos é o Norte da Europa (Figura 5).

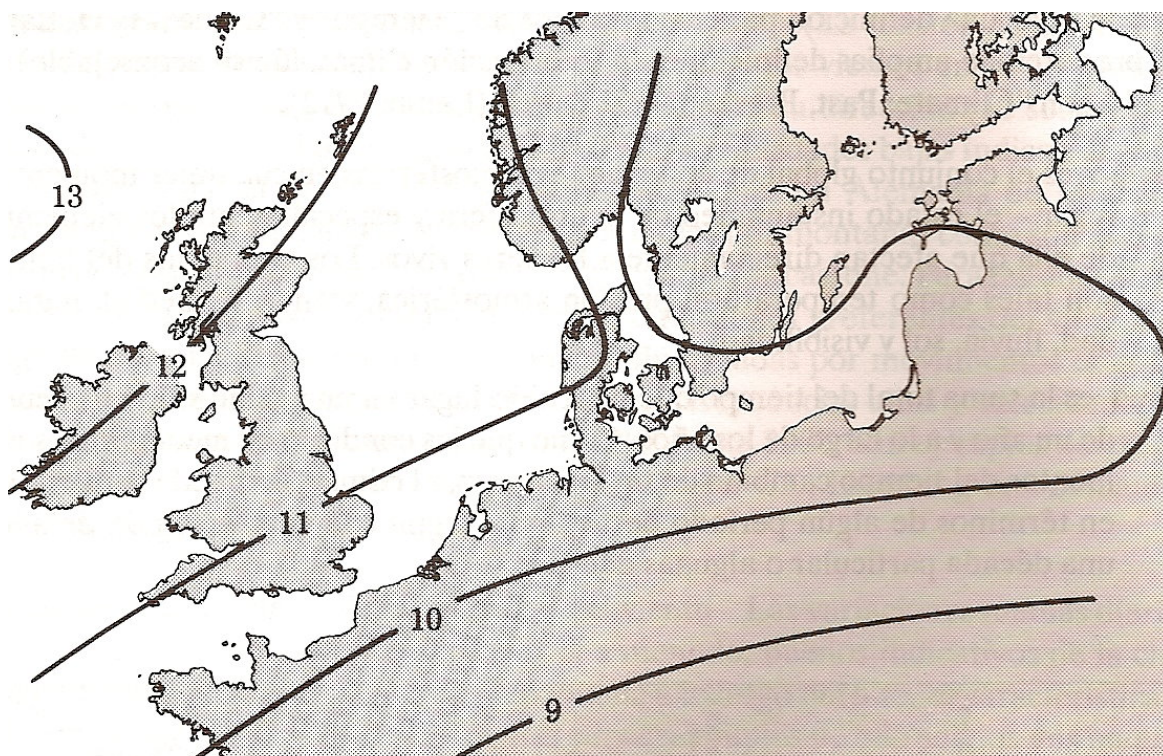


Figura 5: Regime de ventos na Europa do Norte. European Wind Atlas, Risø 1989

O segundo regime de ventos é verificado no Sul da Europa, onde a África, o Mar Mediterrâneo e as maiores cadeias montanhosas, fazem com que sejam gerados bastantes sistemas de ventos locais (Figura 6) [14].

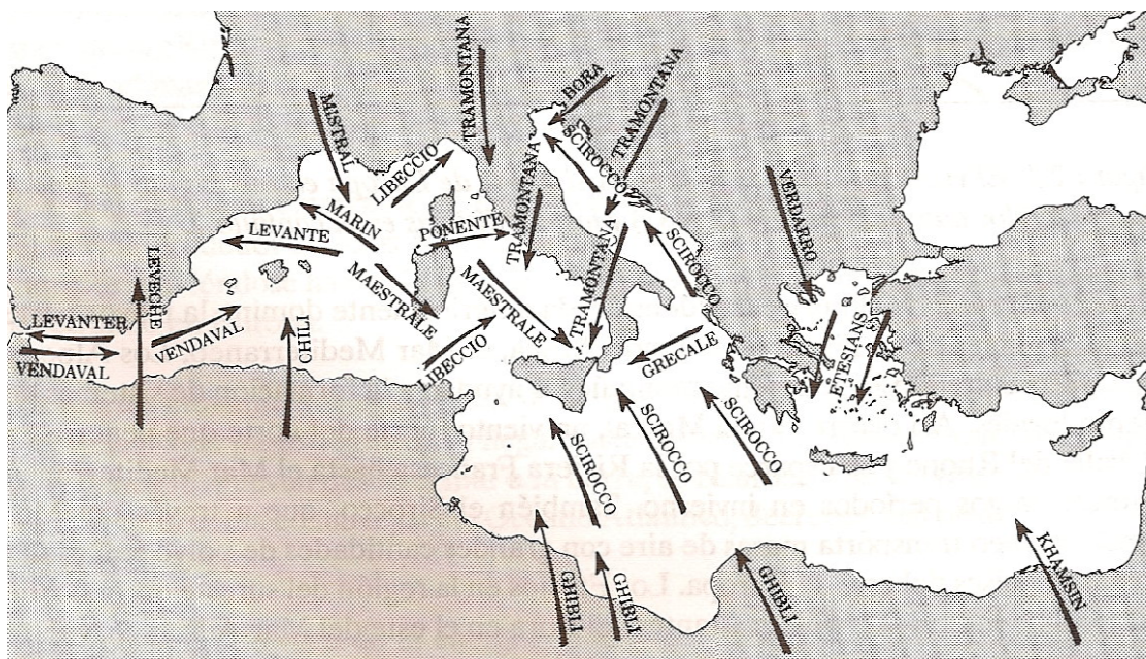


Figura 6: Regime de ventos na Europa do Sul. European Wind Atlas, Riso 1989

A título de curiosidade, no Anexo B é feita uma breve descrição destes sistemas de vento locais.

Como se verifica após a leitura deste capítulo, existem padrões de vento mais ou menos definidos, sejam eles mensais ou anuais, mas existe também uma grande característica do vento que pode mudar rapidamente de direcção e intensidade sem “pré-aviso”.

Tal como se consegue prever para a Europa, também é possível ter uma ideia do regime de ventos que sopra num local específico, com uma área muito menor: para isso basta dispor dos dados de vento ocorridos nesse mesmo local no passado, e dessa forma conseguir prever a energia que se consegue retirar do vento, para um determinado número de anos, isto se o período previsto e o período de previsão não forem atípicos, daí a necessidade de qualquer um destes períodos ser suficientemente longo.

4. Fontes de informação para recolha de dados de vento

Este trabalho dá particular ênfase às séries de reanálise do NCEP/NCAR como fonte de informação, visto serem de fácil acesso e gratuitas. O capítulo que aqui se apresenta, explica um pouco sobre a sua elaboração e organização, visto ser esta, a principal fonte de informação para a substituição dos dados de vento locais.

4.1. Como surgiram as séries de reanálise

O projecto das séries de reanálise, foi elaborado em conjunto entre o National Center for Environmental Prediction (NCEP) e o National Center for Atmospheric Research (NCAR), iniciando-se em 1991, como um desenvolvimento de um projecto anterior do NCEP (sendo nessa altura conhecido por National Meteorological Center ou NMC) chamado Climate Data Assimilation System (CDAS). O projecto CDAS surge em 1989, e é elaborado, principalmente por causa das alterações climáticas que se estavam a verificar durante a década anterior, de forma a poderem melhorar as suas previsões meteorológicas.

Foi pensado, dentro do NCEP, que o projecto CDAS seria muito mais útil se fosse levado a cabo para um longo período de tempo. O NCEP contactou o NCAR, que tinha desenvolvido um arquivo de dados atmosféricos e de superfície, para explorar a possibilidade de desenvolver um projecto conjunto de reanálise para um elevado número de anos. Esta proposta foi desde logo aceite pelo NCAR e ficou acordado que, numa primeira fase, começar-se-iam estas séries a partir do Ano Internacional da Geofísica (1957-58) e a reunião dos dados seria feita usando um sistema que não fosse alterado ao longo dos anos. Ou seja, este sistema iria continuar a realizar a assimilação dos dados no futuro, de modo que as séries não tivessem nenhuma alteração desde o seu início.

As séries de reanálise do NCEP/NCAR foram concebidas, desenvolvidas e implementadas entre os anos de 1990 e 1994, sendo a ideia inicial, a realização de 40 anos de reanálise. A tarefa mais complicada na realização deste projecto, foi a assimilação de dados, pois estes provinham de diversas fontes e em formatos bastante diferentes, e fazer, também, o seu controlo de qualidade.

Existem dois produtos principais da reanálise: o primeiro deles consiste em grelhas de 4 dimensões da atmosfera global, que inclui uma previsão meteorológica de 8 dias realizada todos os 5 dias, que permite estudos de previsibilidade e faz a estimativa do impacto de heterogeneidades na cobertura do sistema observado, que é principalmente usado por meteorologistas e cientistas dedicados ao clima; o segundo consiste num arquivo de observações atmosféricas e de superfície que se verificaram para estes anos de reanálise, sendo este último produto, aquele que foi utilizado para a realização deste trabalho. Este arquivo está no formato BUFR (Binary Universal Format Representation) que é um formato mantido pela Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO), criado em 1989. Ou então, é possível descarregar gratuitamente da internet, em ficheiros netcdf, através do site www.cdc.noaa.gov, que pertence ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos Estados Unidos da América.

4.2. Dados de observação para a elaboração das séries de reanálise

A colecção e consolidação das observações meteorológicas foi uma das tarefas mais importantes e foi realizada, principalmente, pelo NCAR. Observações de superfície e de diversas alturas acima do nível do solo, foram recolhidas e preparadas para a elaboração des-

tas séries de reanálise. O plano inicial era usar os dados operacionais iniciais das análises do NCEP (disponíveis a partir de Março de 1962 e à escala global a partir de Junho de 1966) e adicionar dados provenientes de outras fontes para dados a partir de 1948. Dados adicionais, a partir de 1962, vieram trazer muita mais informação do que aquela que era disponível inicialmente. As diversas fontes de dados mais significativas vão ser apresentadas de seguida.

4.2.1. Dados de *rawinsondes* e *RAOB's* globais

Uma radiossonda, é um conjunto de equipamentos e sensores transportado por balões meteorológicos, os quais medem vários parâmetros atmosféricos e os transmitem para um aparelho receptor fixo. Um outro tipo de radiossonda, é a *rawinsonde* que, além de fazer a medição dos parâmetros que uma radiossonda normal faz, também mede a velocidade e a direcção do vento.

O NCAR possui dados do Sistema Global de Telecomunicações (*Global Telecommunications System* – GTS) do NCEP para alturas mais elevadas, desde Março de 1962, e também foram providenciados o resto dos dados do GTS, não pertencentes ao NCEP, que provinham de medições feitas por aeronaves e *pibals*.

Os balões sonda (*Ceiling Balloons*) (Figura 7) são usados pelos meteorologistas para



Figura 7: Balão sonda totalmente insuflado. Wikipedia.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Ceiling_balloon.JPG

determinar a altura da base das nuvens, acima do nível do solo. O princípio de funcionamento destes balões consiste em determinar quanto tempo eles demoram a desaparecer nas nuvens, após terem sido largados. Quando insuflados correctamente, a velocidade de subida é de 140 m/min e possuem uma cor forte, normalmente vermelho, para se poder ter uma boa visibilidade sobre eles. Durante a noite, é impossível a utilização destes balões; contudo, durante o crepúsculo usam-se *pibals*, que são balões pilotados com uma luz incorporada ligada a uma bateria interna. Este tipo de dispositivo praticamente já não é utilizado nos dias de hoje, mas foi uma das grandes fontes de dados atmosféricos do passado.

O GTS tinha também dados obtidos por *RAOB's* (*RAwinsonde OBservation*) de arquivos nacionais de diversos países. O *RAOB* consiste num poderoso *software*, que utiliza 35 diferentes formatos de dados provenientes de *rawinsondes*.

Estes dados provenientes do GTS, foram uma das principais fontes para a elaboração destas séries de reanálise.

Os dados recolhidos por esta fonte foram principalmente temperatura, vento horizontal e humidade específica; e os dados recolhidos por *rawinsondes* foram uma das principais fontes para a maior parte do período de reanálise.

4.2.2. Dados COADS da superfície marítima

O COADS (*Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set*) é um projecto conjunto do NOAA/ERL (*National Oceanic and Atmospheric Administration/Environmental Research Laboratories*), NCAR e NCDC (*National Climate Data Center*), que foi iniciado em 1983. Este projecto inclui dados recolhidos por navios, bóias fixas, bóias móveis no oceano, bóias em massas de gelo e dados de relatórios provenientes de estações que tratam dados perto da superfície oceânica, como por exemplo, dados provenientes de *Bathythermograph's* localizados perto da superfície.

O *Bathythermograph*, ou BT, é um pequeno dispositivo em forma de torpedo que possui um sensor de temperatura e um transdutor que detecta alterações da pressão hidrostática. Pode estar localizado desde profundidades elevadas, até estar acoplado debaixo do casco de um navio.

Durante a realização da primeira fase das séries de reanálise, foi feito um desenvolvimento dos dados provenientes do COADS do período 1980-1993 para poderem ser utilizados, mas dispunham-se de dados provenientes deste projecto desde o ano 1947, que apenas foram utilizados na segunda fase das séries (50 anos de séries de reanálise).

4.2.3. Dados provenientes de aeronaves

Dados provenientes desta fonte estão disponíveis no GTS do NCEP desde Março de 1992. Dados adicionais foram reunidos de diversas fontes, entre elas, dados provenientes da Nova Zelândia para o período de Fevereiro de 1984 a Junho de 1988, dados de aeronaves provenientes de experiências do GARP (*Global Atmospheric Research Program*), que foi um programa internacional de pesquisa liderado pela WMO (*World Meteorological Organization*) e pelo ICSU (*International Council of Scientific Unions*), tendo começado em 1967 e tendo a duração de 15 anos. Existem também, dados seleccionados de operações de reconhecimento provenientes da Força Aérea Americana, disponíveis a partir de 1947, e dados dos balões de pressão constante para o Hemisfério Sul, disponíveis pelo TWERLE (*Tropical Wind, Energy Conversion and Reference Level Experiment*) para o período de Julho de 1975, até Agosto de 1976. O TWERLE foi um sistema de observação que utilizou balões leves para registar dados climatológicos, que eram transmitidos por satélite até uma estação terrestre.

4.2.4. Dados sinópticos de superfície

Dados provenientes do GTS a nível global, estão disponíveis a partir de 1967, em que durante o período de 1967-1976 os dados provêm da Força Aérea, e a partir de 1976 do NCEP. Dados anteriores são disponíveis, para o horário americano, pelo NCDC para o período de 1948 até 1966. A título de curiosidade, os dados sinópticos de superfície para este período de 18 anos, provêm de 223 estações de medição soviéticas e de 300 estações de medição norte americanas.

4.2.5. Dados provenientes de sondas satélite

Para este tipo de equipamentos, foram utilizados dados provenientes de diferentes fontes, cada uma delas para diferentes períodos, sendo de destacar os TOVS (*TIROS-N Operational Vertical Sounder*) que a partir de 1979, foram as primeiras sondas combinadas infraverme-

lho/microondas, que tiveram um grande impacto positivo nas previsões do Hemisfério Sul e continuaram a ser utilizados com muito poucas alterações até à implantação das avançadas sondas microondas (AMSU), em 1998. Estas sondas TOVS são usadas em órbitas polares sobre o oceano dos 0° N aos 20° N, e dos 0° S aos 20° S de latitude, devido à contaminação causada pela chuva.

4.2.6. SSM/I da velocidade do vento na superfície da terra

O SSM/I (*Special Sounding Microwave/Imager*) ficou disponível a partir de Julho de 1987 e no NCEP a assimilação dos ventos de superfície, ficou operacional a partir de Julho de 1993. Os dados provenientes desta fonte, não foram utilizados na primeira fase do projecto (40 anos de séries de reanálise), devido ao facto da elevada quantidade de dados atrasar imenso o processamento das séries de reanálise.

4.2.7. Movimentação das nuvens através de imagens de satélite

Foram utilizados dados provenientes desta fonte, disponíveis nos arquivos do NCEP e dados recebidos pela Agência Meteorológica Japonesa (JMA), para o período de 1978 a 1991.

No Anexo C, estão disponíveis gráficos que mostram a proveniência de cada um dos dados e qual a fonte que os disponibilizou.

4.3. Observação e qualidade dos arquivos de reanálise

A maior parte dos dados disponíveis cobre o período a partir de 1948, e é de qualidade bastante razoável, mesmo para datas mais antigas. Porém, a rede de observação por *rawinsondes*, que era uma das principais fontes de dados para os anos iniciais, para a Antártida e para a costa Oeste da América do Sul, só começou depois de Julho de 1957. Por este motivo, os dados de reanálise para o Hemisfério Sul, em geral, até à data do Ano Internacional da Geofísica, não são de muito boa qualidade, devido a esta ausência de dados. Como resumo desta secção observe-se à Figura 8:

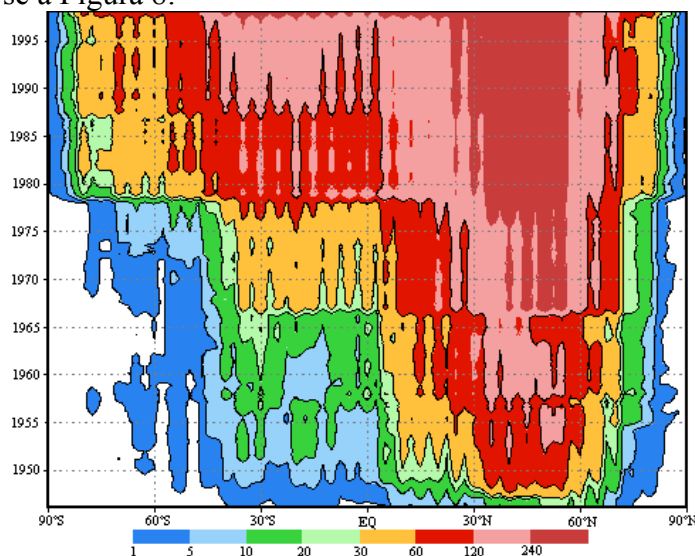


Figura 8: Número de todos os tipos de observações por cada área de 2,5° de latitude-longitude desde 1948 até 1998. The NCEP/NCAR Reanalysis. 1999

Esta figura mostra que poucas observações estavam disponíveis antes de 1948, mesmo a latitudes médias do Hemisfério Norte. O aumento das observações perto do Equador e nos Sub-Trópicos do Hemisfério Sul, em 1950, reflecte o aumento que se verificou nos relatórios sinóticos de superfície (Subsecção 4.2.4). O aumento nos finais dos anos 60, reflecte um aumento ainda maior dos relatórios sinóticos de superfície, dados provenientes de navios, radiossondas e aeronaves. Dados de vento provenientes de satélite, ficaram disponíveis em número significativo em meados dos anos 70, aumentando de número nos finais dos anos 80, tendo um *boom* em 1998. Os dados da temperatura provenientes desta mesma fonte, ficaram disponíveis em número significativo, a partir de 1979.

É também de assinalar, que a partir do dia 1 de Junho de 1957 (início do Ano Internacional da Geofísica), foram implementadas algumas alterações pela Organização Mundial da Meteorologia (WMO). Até então, as observações para níveis mais elevados da atmosfera eram realizadas às 03 UTC, 09 UTC, 15 UTC e 21 UTC, que foram antecipadas 3 horas, para as 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC e 18 UTC, respectivamente, que eram as horas a que se realizavam as observações na superfície. UTC refere-se a Tempo Universal Coordenado (do inglês *Universal Time, Coordinated*), que é o fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as zonas horárias do mundo e veio substituir o Tempo Médio de Greenwich (GMT – *Greenwich Mean Time*).

Dada esta alteração, foi decidido realizar as séries de reanálise para o horário observado para o período desde 1948 até Junho de 1957; contudo, de maneira a facilitar a comparação para o período pós 1957, foi decidido alterar o horário anterior das observações para o horário em vigor a partir do Ano Internacional da Geofísica, de forma a manter a filosofia original das séries de reanálise. Com os dados de observação para o período de 1948 a 1 de Junho de 1957, foram feitas previsões para o horário actual, mas como os dados de observação para este período eram de muito má qualidade e em muitas zonas do globo praticamente inexistentes (Figura 8), não foi feita nenhuma tentativa para tentar modificar e corrigir os erros que, eventualmente, advieram destas previsões.

As grelhas de todos os campos das séries de reanálise foram classificadas em quatro classes, dependendo da influência relativa dos dados observados e do modelo de parametrização. Este modelo não irá ser aqui explicado, pois a sua relevância para a elaboração deste trabalho é mínima, apenas é de referir que inclui parametrizações de todos os processos físicos mais relevantes: convecção, precipitação de larga escala, convecção superficial, onda de arrasto da gravidade, radiação do ciclo diurno e interacção com as nuvens, uma superfície interactiva hidrológica, e processos de difusão vertical e horizontal. Isto reflecte que, para além dos dados observados, as séries de reanálise também utilizaram um modelo computacional para a sua elaboração.

A classe **A**, indica que a análise é fortemente influenciada pelos dados observados, e por essa razão é a classe mais viável das quatro (um exemplo desta classe, é o valor da temperatura do ar e a velocidade do vento para valores da cota *z* elevados); a designação **B** indica que, apesar de haver dados observados que directamente afectam o valor da variável, o modelo computacional também tem influência no valor analisado (como por exemplo o valor da humidade e da temperatura de superfície); a letra **C** indica que não existem observações que directamente afectem o valor da variável analisada: por isso, este valor deriva unicamente dos

campos do modelo computacional, forçado pela assimilação de dados a permanecer perto da atmosfera (nuvens, precipitação); finalmente, a classe **D** representa valores que foram obtidos por valores climatológicos e não dependem do modelo computacional (resistência das plantas (*plant resistance*), proporção terra-mar (*land-sea mask*)). No Anexo D está descrita uma classificação completa de todas as variáveis, assim como os ficheiros de cada *dataset*, que serão explicados na Secção 4.4. Apesar de esta classificação ser um pouco subjectiva, é aconselhado que se usem os valores de reanálise com cautela, especialmente as variáveis nas categorias **B** e **C**. Na elaboração deste trabalho, as séries de reanálise utilizadas são da classe **A** e algumas da classe **B**, mas este assunto vai ser melhor abordado mais adiante [15] [16].

4.4. Organização das séries

As séries de reanálise encontram-se distribuídas para duas grelhas globais diferentes, dependendo do *dataset* em que se encontram. Existem 7 *datasets*, tendo cada um deles, diferentes variáveis e, apesar de existirem duas grelhas globais, também existem várias alturas z , sendo algumas delas em relação ao nível do solo e outras em relação ao nível médio do mar:

- Nível de pressão (*Pressure level*)
- Superfície (*Surface*)
- Fluxos de superfície (*Surface Fluxes*)
- Outros fluxos (*Other Fluxes*)
- Tropopausa (*Tropopause*)
- Coeficientes espectrais (*Spectral Coefficients*)
- Dados derivados (*Derived Data*)

4.4.1. Nível de pressão (*Pressure level*)

Neste *dataset*, os dados de reanálise encontram-se distribuídos numa grelha de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, fazendo um total de 73 valores de latitude diferente, e 144 valores de longitude. Esta grelha, em termos de latitude, começa nos 90° Norte e termina nos 90° Sul, em termos longitudinais começa no Meridiano de Greenwich e vai em direcção a Leste, até fazer a rotação completa sobre o globo. Para melhor percepção desta grelha, atente-se aos símbolos vermelhos da Figura 9.

Como se pode verificar (Figura 9), quanto mais perto dos Pólos, menor é o espaçamento longitudinal de cada ponto da grelha, fazendo até que nos Pólos, existam 144 pontos de reanálise em cima do mesmo local, sendo cada um dos valores de reanálise para o mesmo instante igual, pois, em termos espaciais, os pontos de reanálise encontram-se no mesmo local geográfico.

Os dados disponíveis neste *dataset* e nos seguintes, encontram-se representados no Anexo D, assim como a classificação de cada um deles, tal como explicado na Secção 4.3.

Todos estes valores se encontram disponíveis para valores mensais, valores diários e valores em cada 6 horas. A coordenada vertical é a pressão do geopotencial, e está disponível em 17 níveis (1000 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa, 250 hPa, 200 hPa, 150 hPa, 100 hPa, 70 hPa, 50 hPa, 30 hPa, 20 hPa e 10 hPa), excepto o valor de ómega, que só está disponível até aos 100 hPa, e o valor da humidade relativa, até aos 300 hPa.

4.4.2. Superfície (*Surface*)

Neste *dataset*, a grelha utilizada é igual à anterior, excepto no valor da componente z . Alguns valores são disponibilizados para toda a atmosfera, outros são para a cota de superfície ou para o nível do mar, no caso de as coordenadas se encontrarem sobre o mar, ou seja à cota 0 metros, e outros para valores perto da superfície, para o nível sigma 0,995. O nível sigma é uma coordenada vertical que é função da pressão instantânea nesse ponto da grelha ou da pressão de referência, da pressão à superfície nesse mesmo ponto e da pressão no topo do modelo. Sigma varia entre 1, valor à superfície, e 0, no topo do modelo. A influência do terreno da estrutura do sigma diminui com a altura, tal que os valores de sigma no topo do modelo são quase paralelos.

4.4.3. Fluxos de superfície (*Surface Fluxes*)

Este *dataset* utiliza uma grelha gaussiana T62 com 192x94 pontos, começando em valores de latitude de 88,542° Norte e terminando em 88,542° Sul; em termos longitudinais começando no Meridiano de *Greenwich* e terminando em 358,125° Este, ou então em 1,875° Oeste, rodando em direcção a Este. Os símbolos brancos da Figura 9 apresentam a grelha aqui utilizada.

Esta grelha e a descrita anteriormente, são bastante diferentes, fazendo com que a grelha acima descrita tenha mais 7536 pontos que a grelha para os pontos de pressão. Sobrepondo as duas grelhas (Figura 9), verifica-se que nas duas grelhas não existe nenhum ponto em comum.

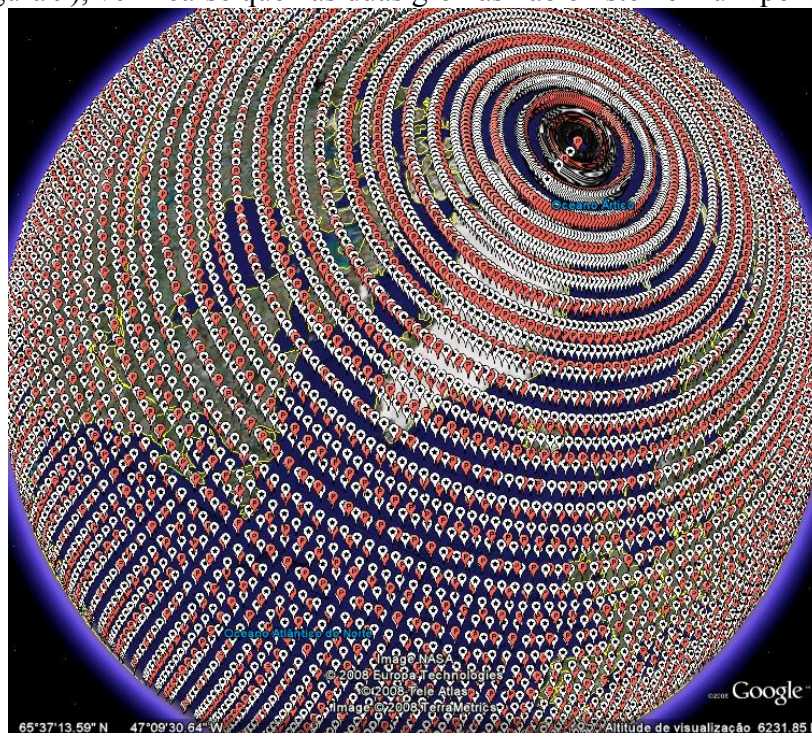


Figura 9: Grelha de Distribuição 2,5°x2,5° (símbolos vermelhos) e Grelha Gaussiana T62 (símbolos brancos), 192x94. Google Earth®

Este *dataset* é de longe aquele que apresenta mais variáveis de reanálise, sendo apenas dadas para valores diários ou para valores de 6 em 6 horas, e encontram-se divididas em 3 tipos: previsões válidas para 6 horas depois do tempo de referência, valores obtidos através de previsões utilizando dados passados e comparados com os que realmente aconteceram e

médias de 6 horas, começando no tempo de referência. Os níveis de referência são para a superfície, ou perto desta.

4.4.4. Outros fluxos (*Other Fluxes*)

Este *dataset* utiliza a grelha gaussiana T62 (símbolos brancos da Figura 9**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) explicada anteriormente, e apresenta os seus valores para médias diárias e para médias de 6 em 6 horas.

4.4.5. Tropopausa (*Tropopause*)

Este *dataset* utiliza a grelha de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (símbolos vermelhos da Figura 9) e apresenta todos os seus valores de reanálise para o nível da tropopausa, que é o nome dado à camada intermédia entre a troposfera e a estratosfera, situada a uma altura média de 17 km no Equador.

Só estão disponíveis dois valores de reanálise para este nível, entre eles, a temperatura do ar (*air temperature*) e a pressão (*pressure*), e estão disponíveis para valores instantâneos de 6 em 6 horas, para valores diários e para médias mensais.

4.4.6. Coeficientes espectrais (*Spectral Coefficients*)

Neste *dataset* é utilizada a grelha gaussiana T62 sendo, à excepção de 2 variáveis de reanálise, disponibilizadas para 28 Níveis Sigma: 0,995, 0,9821, 0,9644, 0,9425, 0,9159, 0,8838, 0,8458, 0,8014, 0,7508, 0,6943, 0,6329, 0,5681, 0,5017, 0,4357, 0,3720, 0,3125, 0,2582, 0,2101, 0,1682, 0,1326, 0,1028, 0,0782, 0,058, 0,0418, 0,0288, 0,0183, 0,0101, 0,0027. Correspondendo o valor de 1, ao nível da superfície, e o valor de 0, ao topo do modelo.

Com excepção da orografia e do logaritmo natural de pressão que são disponíveis para o nível de superfície, os restantes valores estão disponíveis para os 28 níveis sigma. Todos eles são disponíveis para valores instantâneos de 6 em 6 horas, excepcionando o valor para a orografia que é constante, como era de esperar.

4.4.7. Dados derivados (*Derived Data*)

Este *dataset* é completamente diferente dos *datasets* anteriores. Este é dividido em 6 *sub-datasets* semelhantes aos anteriores (Subsecção 4.4.1 até Subsecção 4.4.6); portanto, a sua distribuição espacial depende de cada *sub-dataset*: por exemplo, para o *sub-dataset* do nível de pressão (*Pressure level*) utiliza-se a grelha de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, tal como o *dataset* da Subsecção 4.4.1 anteriormente descrito, e assim subsequentemente, para cada um dos outros *sub-datasets*.

Neste *dataset*, todos os valores derivam dos *datasets* anteriores, sendo por esse motivo que ele está dividido em *sub-datasets*. Cada um deles apresenta os parâmetros que foram enumerados nas secções anteriores (Subsecção 4.4.1 a 4.4.6) e para cada um destes parâmetros existem ficheiros *netcdf* que nos indicam valores anómalos que ocorreram, desvios padrão das médias mensais em relação a cada ano, médias mensais de longo termo, médias diárias de longo termo e desvio padrão total de cada mês [17].

4.5. Impacto das mudanças no sistema de observação de dados

Como foi referido nas secções anteriores, existem duas alterações significativas no sistema de observação de dados nos últimos 60 anos. A primeira teve lugar durante o período de 1948 a 1957, quando a rede de observação para o Hemisfério Norte, para dados a altas altitudes, foi melhorando gradualmente. Depois desta data, esta rede do Hemisfério Norte ficou relativamente estável, mas os trópicos e o Hemisfério Sul tinham observações muito pobres. A segunda alteração significativa teve lugar com a Primeira Experiência Global do GARP (FGGE – *First Global GARP Experiment*), decorrida durante um ano, entre o mês de Dezembro de 1978 e o mês Novembro do ano seguinte, que introduziu diversos sistemas de observação inovadores, com base em sensoriação de aeronaves, de maneira a fazer uma cobertura global nunca antes feita. Embora a movimentação das nuvens através de imagens de satélite fossem introduzidas no início dos anos 70, e os VTPR's em 1975, o sistema global de observações com as sondas TOVS mais avançadas, foi consolidado durante o FGGE. Durante e após o FGGE, diversos testes aos dados de satélite foram realizados, geralmente com resultados fortemente positivos no Hemisfério Sul, mas com poucos impactos no Hemisfério Norte.

4.6. Problemas e erros conhecidos da reanálise

Nestas séries de reanálise, existem alguns problemas que foram “encobertos” e muitos outros que foram corrigidos, sendo todos eles descobertos através de monitorização interna do NCEP e por utilizadores externos que tiverem acesso aos resultados, antes de eles serem tornados públicos. Alguns problemas eram inevitáveis, tais como alterações no sistema de observação, ou deficiências do modelo computacional; outros eram enganos que eram corrigidos logo que fossem descobertos, mas quando afectavam períodos maiores que poucos meses, já não era possível voltar a correr a reanálise com os valores correctos. Diversos problemas também foram descobertos nos próprios dados de observação, e tanto os problemas corrigidos como os por corrigir foram comunicados ao NCAR, para que as séries de reanálise futuras beneficiem deste conhecimento, para puderem ser corrigidas.

A densidade do sistema de observações e as suas alterações também afectam a precisão e a consistência da reanálise. As duas maiores alterações no sistema de observação, o aumento da rede de observação para altitude elevadas no período 1948-1958 e a introdução do sistema de observação por satélite em 1979 (Secção 4.5), também afectaram a reanálise.

Existem também diversos erros causados por falha humana, realizados na assimilação de dados, sendo a grande maioria no processo de introdução de dados, que foram identificados tardiamente para poder ser repetido o período de reanálise afectado pelo erro [16].

5. Locais em estudo

5.1. Transformação de coordenadas

Existem vários sistemas de coordenadas, sendo alguns deles globais e outros locais. Ao longo da realização deste trabalho, cada *software* utilizado e cada fonte de informação tinha o seu sistema de coordenadas distinto, pelo que foi necessário proceder à transformação de coordenadas. O *Software* Google Earth[®] utiliza o sistema de coordenadas global WGS84, o ArcGIS[®] o sistema Europeu ED50, assim como o Surfer[®]. No anexo E, é feita uma pequena introdução aos sistemas de coordenadas.

A teoria por trás desta transformação não é relevante para o desenvolvimento deste trabalho, e para se proceder, então, à sua mudança de coordenadas era utilizado o *site* da internet do IGeoE (www.igeoe.pt) que permite fazer a transformação entre 4 sistemas de coordenadas *on-line*, sendo eles o *datum* Lisboa, o *datum* 73, WGS84 e ED50, tanto para coordenadas retangulares como geográficas para Portugal continental. Para a região autónoma da Madeira permite transformações entre o *datum* Porto Santo e o WGS84, tanto geográficas como retangulares. A região autónoma dos Açores está dividida em três (Ocidental, Central e Oriental), sendo que a transformação de coordenadas é do sistema WGS84 para UTM fuso 25, UTM base SW fuso 26 e UTM Forte S. Braz Fuso 26, respectivamente para cada um dos grupos, tal como nos casos anteriores, tanto para coordenadas geográficas como coordenadas retangulares.

5.2. Apresentação dos locais

Antes da primeira abordagem a este trabalho, constatou-se que seria importante fazer este estudo em locais com orografias bastante diferentes. Então, verificando-se a distribuição dos pontos das séries de reanálise em Portugal continental (Figura 10), ficou decidido estudar dois pontos onde se conhecessem muito bem os dados de ventos locais para se proceder à sua comparação. Foi então escolhida a estação de medição 27 (PORT027), situada na Serra do Açor e a estação de medição 284 (PORT284), situada muito perto da albufeira do Alqueva (Figura 10).



Figura 10: Distribuição dos pontos de reanálise sobre Portugal continental e localização dos locais em estudo. Google Earth®

Como se pode verificar pela observação da Figura 10, não existem muitos pontos de reanálise sobre Portugal continental: apenas cinco: dois para a grelha de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (símbolos vermelhos da Figura 9), e três para a grelha gaussiana T62 (símbolos branco da Figura 9) (o ponto situado no sul de Portugal perto da fronteira, encontra-se ao largo de Portugal). Então, o ponto do Açor é estudado com o ponto de reanálise da grelha $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, situado ligeiramente a Sudeste e o ponto de S. Pedro de Portel é estudado com o ponto da grelha $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ situado a Sul, e o da grelha gaussiana T62 situado a Norte.

5.2.1. Açor

Devido a limitações do programa de simulação WASP, que vai ser explicado em mais pormenor no Capítulo 6, o mapa de cada local em estudo tem que ser limitado (máximo de 1 milhão de pontos) e tem que possuir uma distância mínima entre os limites do mapa e os pontos de interesse de 6 km. Para o caso do Açor, como é um terreno bastante acidentado, o mapa tem aproximadamente 2600 km^2 , sendo este o mapa com menor área de todos em estudo, mas como a distância entre os dois pontos de interesse é a menor de todas, a distância entre os limites do mapa e os pontos de interesse é de 13 km.

Como se pode verificar pela Figura 11, este terreno tem uma orografia bastante complexa, sendo que o ponto de reanálise se encontra a uma cota bastante inferior que a da estação de medição. O ponto com maior altitude representa a Torre, ponto mais elevado de Portugal continental.

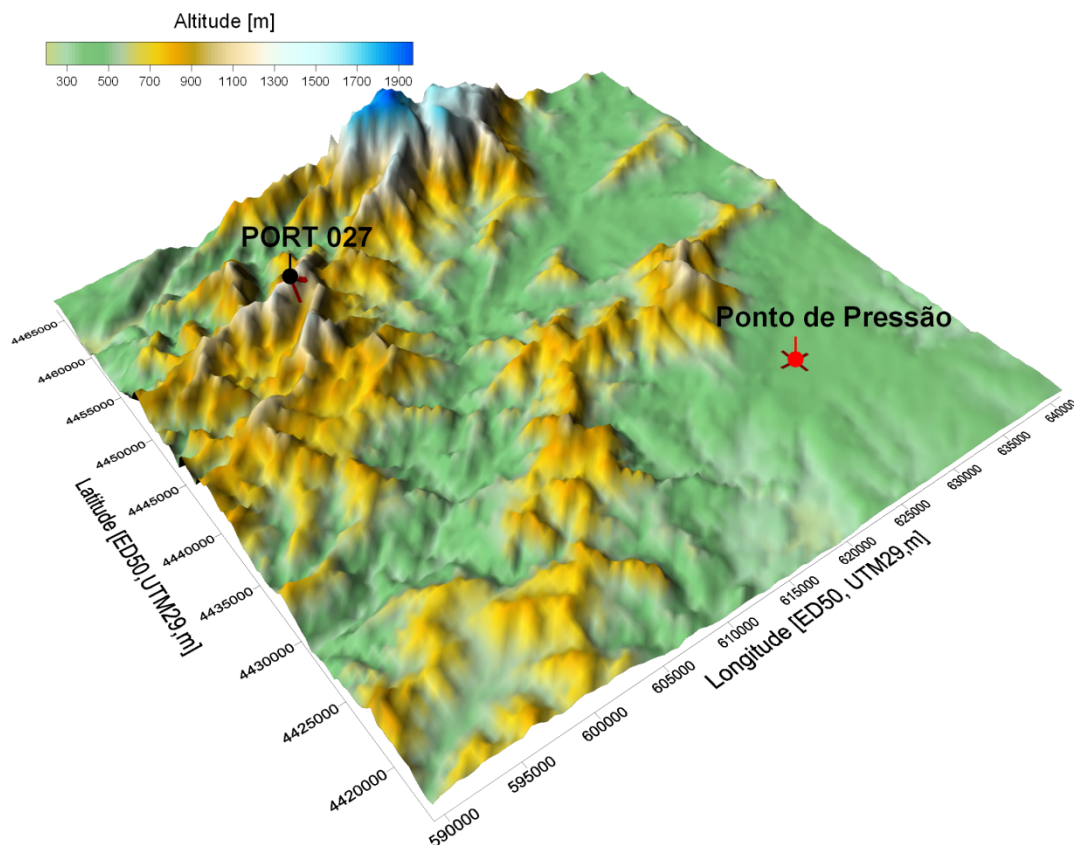


Figura 11: Mapa tridimensional do local em estudo na Serra do Açor, obtido através do *Software Surfer®*

De acordo com valores do Google Earth®, o ponto de reanálise encontra-se a uma cota de 388 metros, enquanto a estação de medição está a 1300 metros de altura. A Figura 12 e a Figura 13, são imagens do Google Earth® fixas, uma no ponto da estação de medição, outra no ponto de reanálise, que mostram a complexidade do terreno em torno dos pontos em estudo. Em cada uma das imagens é assinalado com uma circunferência vermelha o outro ponto de interesse.



Figura 12: Mapa do Açor fixo na estação de medição (PORT027). Google Earth®

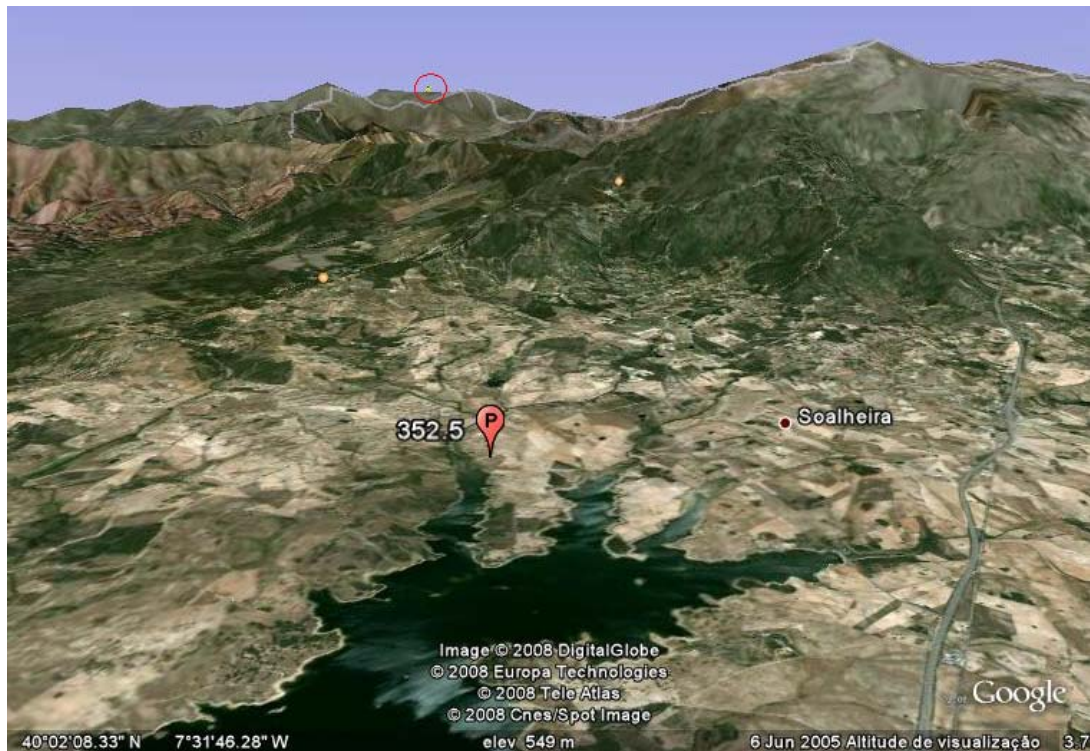


Figura 13: Mapa do Açor fixo no ponto de reanálise. Google Earth®

A estação de medição PORT027 encontra-se nas seguintes coordenadas:

- Sistema de coordenadas geográficas WGS84 (usadas no *software* Google Earth®):

Latitude: 40° 13' 22,81" Norte

Longitude: 7° 47' 53,78" Oeste

- Sistema de coordenadas rectangulares ED50 (usadas nos *softwares* ArcGIS® e Surfer®):

Latitude: 602 348,0

Longitude: 4 453 474,0

Enquanto o ponto de reanálise está localizado nas seguintes coordenadas:

- Sistema de coordenadas geográficas WGS84:

Latitude: 40° 0' 0,00" Norte

Longitude: 7° 30' 0,00" Oeste

- Sistema de coordenadas rectangulares ED50:

Latitude: 628 164,69

Longitude: 4 429 048,83

Estes 2 pontos estão, aproximadamente, 35,5 km distanciados entre si.

5.2.2. S. Pedro de Portel

Uma vez que para o estudo de S. Pedro de Portel são considerados dois pontos de reanálise colocados em coordenadas geográficas diferentes, são considerados dois mapas diferentes para o estudo, devido a limitações do programa de simulação WAsP (Capítulo 6).

➤ Mapa para o ponto de pressão

O presente mapa tem uma área de, aproximadamente, 4200 km² (Figura 14) que, como se pode verificar, possui um terreno muito menos complexo que o do Açor. A distância entre os pontos de interesse e os limites do mapa é de 10 km, que é uma distância inferior à do mapa do Açor, mas em contrapartida, a área do mapa é consideravelmente maior.

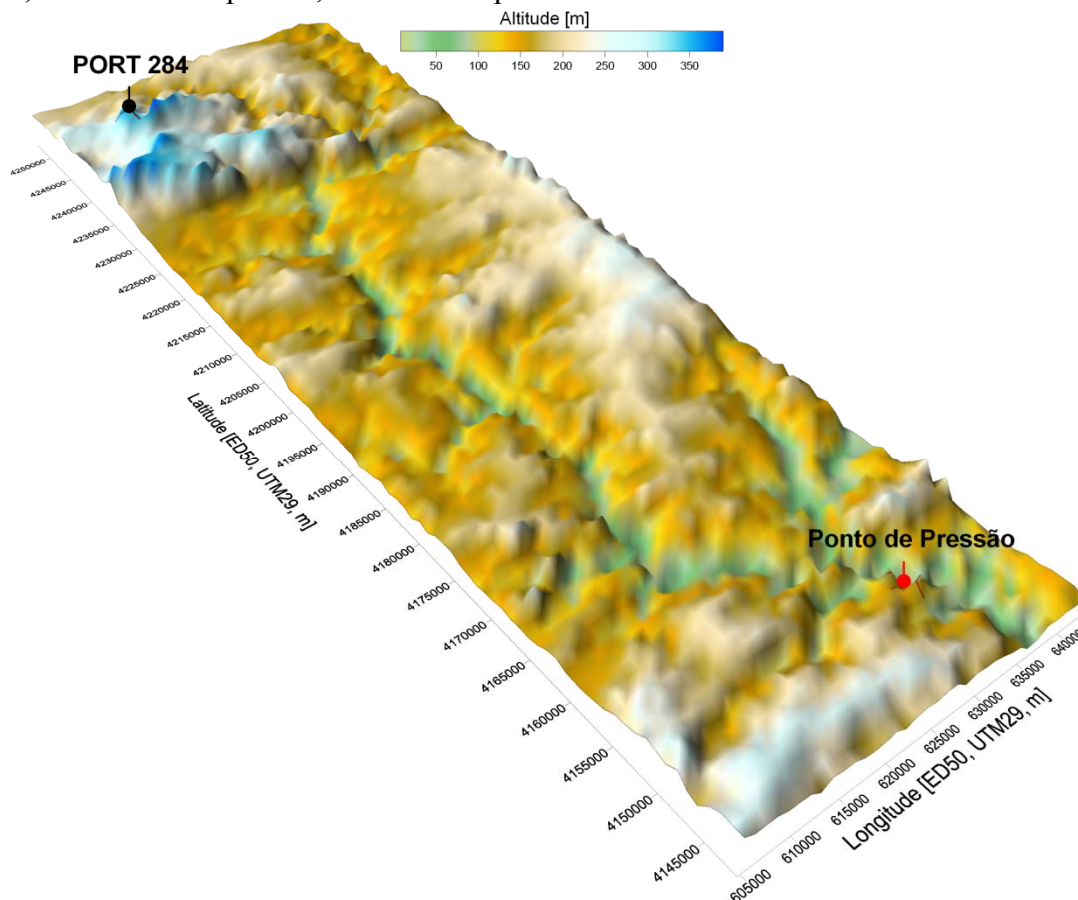


Figura 14: Mapa tridimensional do local em estudo em S. Pedro de Portel para o ponto de pressão, obtido através do Software Surfer®

Segundo dados do Google Earth®, o ponto de pressão encontra-se a uma cota de 74 metros, enquanto a estação de medição se encontra a 402 metros de altura.

As Figura 15 e 16, em semelhança ao que foi feito para o Açor, mostram imagens do Google Earth®, para melhor compreensão da complexidade do terreno. Assinalado com uma circunferência vermelha, encontra-se a direcção e a posição do outro ponto de interesse, que ao contrário do mapa do Açor, e dada a distância a que se encontram, não é possível visualizar nestas duas imagens.



Figura 15: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando a estação de medição (PORT284) na direcção do ponto de pressão. Google Earth®



Figura 16: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando o ponto de pressão orientado na direcção da estação de medição. Google Earth®

As coordenadas destes dois pontos são as seguintes:

- Sistema de coordenadas geográficas WGS84, para a estação de medição PORT284, é o seguinte:

Latitude: 38° 19' 57,09" Norte

Longitude: 7° 43' 0,87" Oeste

- Para o mesmo ponto, as coordenadas rectangulares ED50 são:

Latitude: 612 266,0

Longitude: 4 243 701,0

Para o ponto de pressão, as suas coordenadas são as seguintes:

- Sistema de coordenadas geográficas WGS84:

Latitude: 37° 30' 0,00" Norte

Longitude: 7° 30' 0,00" Oeste

- Sistema de coordenadas ED50

Latitude: 632 711,91

Longitude: 4 151 608,30

Analisando estes dois locais, verifica-se que se encontram a, aproximadamente, 94 km.

➤ Mapa para o Ponto de 10 metros

Este mapa mostra uma área de aproximadamente 5 300 km² (Figura 17), sendo que o ponto de reanálise se encontra a 235 metros de altura. A distância dos pontos de interesse até aos limites do mapa é de 16 km, sendo este o mapa com maior área representada.

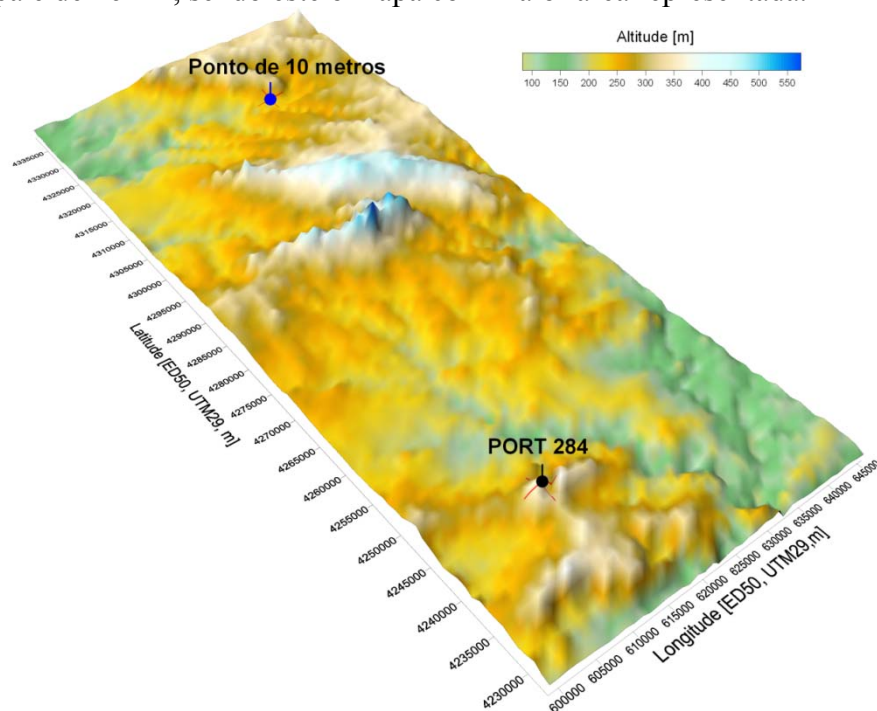


Figura 17: Mapa tridimensional do local em estudo em S. Pedro de Portel para o ponto de 10 metros, obtido através do Software Surfer®

As Figura 18 e a Figura 19 mostram o terreno à volta da estação de medição, orientado na direcção do ponto de reanálise de 10 metros e à volta do ponto de reanálise, orientado na direcção da estação de medição.

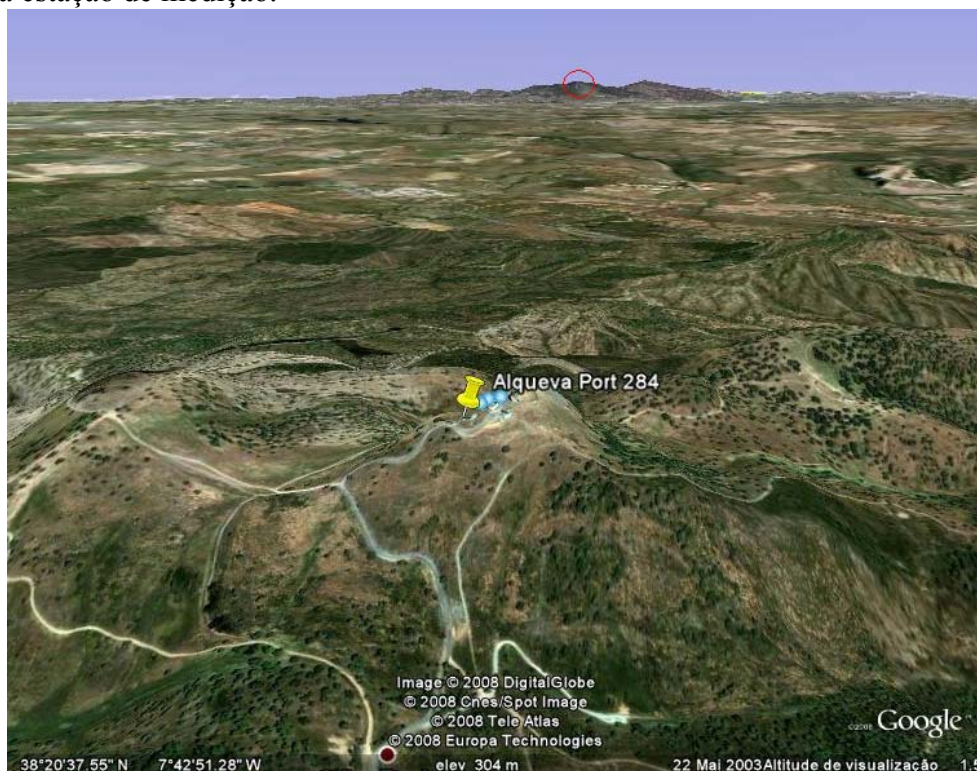


Figura 18: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando a estação de medição (PORT284) na direcção do ponto de 10 metros. Google Earth®



Figura 19: Mapa de S. Pedro de Portel mostrando o ponto de reanálise de 10 metros orientado na direcção da estação de medição. Google Earth®

À semelhança do que aconteceu nos mapas de S. Pedro de Portel para o ponto de pressão, a circunferência vermelha mostra a direcção e posição do outro ponto de interesse, que dada a elevada distância de separação entre os dois pontos, não é possível visualizar nestas imagens.

As coordenadas geográficas e rectangulares da estação de medição, estão representadas um pouco mais acima, quando foi apresentado o mapa de S. Pedro de Portel para o ponto de pressão, enquanto as coordenadas para o ponto de reanálise de 10 metros são as seguintes:

- Sistema de coordenadas geográficas WGS84:

Latitude: 39° 2' 49,20" Norte

Longitude: 7° 30' 0,00" Oeste

- Sistema de coordenadas ED50:

Latitude: 629 927,42

Longitude: 4 323 275,45

Então, a distância de separação entre estes dois pontos é de, aproximadamente, 81,5 km.

Como é fácil verificar, a complexidade do terreno para os dois locais é consideravelmente diferente. No ponto do Açor, as serras e montanhas são bastante demarcadas, e o ponto mais elevado de Portugal continental está representado no mapa, dado a sua proximidade com o local em estudo. Para S. Pedro de Portel, verifica-se que o relevo não é tão acentuado: terreno já bastante “ondulado” sem grandes acidentes orográficos em que as planícies prevalecem.

5.3. Rugosidades

Além do relevo, a rugosidade do terreno também influencia o comportamento do vento. Portanto, foi necessário, na construção dos mapas, colocar a rugosidade de cada ponto. Para realizar tal tarefa, recorreu-se ao projecto *CORINE Land Cover 2000*, projecto sob a tutela da Agência Europeia do Ambiente (EEA – *European Environment Agency*) que fornece a ocupação do solo à escala europeia (Figura 129 – Anexo G).

5.3.1. CORINE Land Cover 2000 (CLC2000)

A informação para a realização deste projecto europeu foi obtida através de um sensor a bordo de um satélite, sendo constituído por 8 bandas, cada uma delas com diferentes níveis de resolução. No Anexo F, está representado para cada uma das 8 bandas, qual a largura e o seu uso principal. Devido ao seu elevado pormenor, este sistema teve um projecto de classificação próprio, com 44 classes, sendo cada uma delas organizada hierarquicamente em 3 níveis, disponível também, no Anexo F [18].

No Anexo G estão representados os mapas da rugosidade da superfície da Europa, abrangida pelo projecto CLC e de Portugal continental, assim como a sua legenda.

5.3.2. Sistema de rugosidade do *Software* WAsP

A rugosidade de uma determinada superfície, calcula-se pela medição e distribuição dos elementos rugosos que contém: para superfícies, em terra estes elementos são tipicamente vegetação, áreas edificadas e tipo de solo. No *software* WAsP, os terrenos estão divididos em

quatro classes distintas, cada uma delas caracterizada pela rugosidade dos seus elementos. As referências a cada tipo de terreno fazem-se através da sua classe de rugosidade. Na Figura 20, faz-se uma breve descrição e ilustração de cada uma das classes.

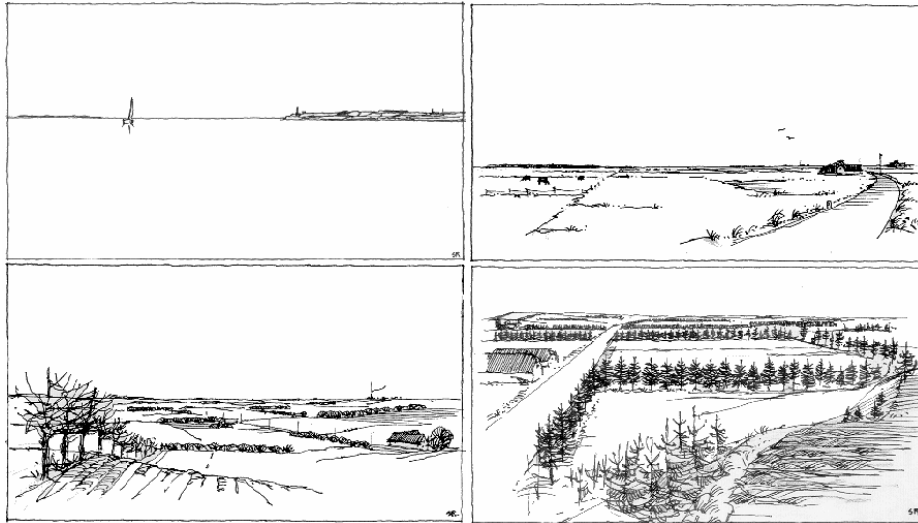


Figura 20: Exemplos de terreno de rugosidade de classe 0, 1, 2 e 3 da esquerda para a direita. WASP 8 Help Facility and On-line Documentation, Risø 2007

O canto superior esquerdo da Figura 20 mostra o exemplo de um terreno correspondente a uma rugosidade de classe 0: áreas aquáticas. Esta classe engloba o mar, os fiordes e lagos. O parâmetro de rugosidade é $z_0 = 0,0002$ metros, contudo, no *Software* WASP deve ser especificada como 0,0.

Ao seu lado direito está representado um exemplo de uma rugosidade de classe 1: áreas abertas e com poucas sebes. Podem ser encontradas quintas isoladas e grupos de árvores ou arbustos. O seu parâmetro de rugosidade é de $z_0 = 0,03$ metros.

O terreno correspondendo à classe 2 de rugosidade, está representado na parte inferior esquerda da Figura 20: zonas rurais com sebes, separadas por distâncias médias maiores que 1000 metros, e algumas áreas construídas dispersas. O terreno é caracterizado por um elevado número de zonas abertas, entre as muitas sebes presentes; existem muitas árvores e construções. O parâmetro de rugosidade é de $z_0 = 0,10$ metros.

O exemplo de terreno correspondendo à classe 3 de rugosidade, está representado no canto inferior direito: zonas urbanas, florestas e zonas rurais com muitas sebes. Os campos de cultivo são caracterizados por áreas reduzidas separadas por sebes, sendo a distância média entre elas de poucas centenas de metros; sem esquecer que as florestas e zonas urbanas pertencem a esta classe. O parâmetro de rugosidade é de $z_0 = 0,40$ metros [19] [20].

6. O Software WAsP

O WAsP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) foi o programa utilizado neste trabalho para o cálculo da potência eólica. O seu funcionamento vai ser brevemente explicado aqui neste capítulo, de modo a conseguir perceber-se o funcionamento dos algoritmos que estão por trás. Contudo, não é âmbito deste trabalho a explicação do modelo teórico que se encontra por trás.

6.1. A base física

O modelo deste *Software* baseia-se na transformação da distribuição de frequências. Os sub-modelos estão descritos em baixo.

6.1.1. Leis de similaridade na camada superficial

A camada da atmosfera mais próxima do solo (Camada Fronteiriça Atmosférica), estende-se por 100 metros em noites claras com baixas velocidade do vento e em bons dias de Verão pode ultrapassar os 2 km. A parte mais baixa desta camada é conhecida por camada superficial, a que por vezes se atribui uma dimensão fixa, por volta dos 10% de toda a camada. No que se refere à energia eólica, valores mais baixos da velocidade do vento podem ser desprezados para que apenas sejam tomadas em consideração situações onde a camada fronteiriça atmosférica se estende para aproximadamente 1 km na vertical e a camada superficial ocupa os 100 metros mais próximos da superfície.

6.1.2. Lei da resistência aerodinâmica geostrófica e o vento geostrófico

Os ventos na camada fronteiriça atmosférica podem considerar-se que nascem das diferenças de pressão causadas principalmente pela actividade “sinóptica”, ou seja, a passagem de sistemas de alta e baixa pressão. Como a estrutura da camada superficial tem uma resposta rápida às mudanças de pressão, um balanço aproximado é encontrado entre a força do gradiente de pressão e a força de fricção na superfície terrestre. Este balanço, pode ser teoricamente derivado debaixo de condições ideais estacionárias, homogéneas e barotrópicas (o gradiente de pressão constante em toda a espessura da camada fronteiriça atmosférica).

6.2. Modelo de estabilidade

As modificações que a estabilidade proporciona no perfil logarítmico vertical do vento, frequentemente são negligenciadas quando se trata de energia eólica, e isso deve-se à pouca importância que tem em baixas gamas de velocidade do vento. Este modelo estuda estas modificações na estabilidade, considerando que são pequenas perturbações de um estado neutro básico.

De maneira a avaliar de uma forma aproximada os efeitos provocados pela variação do fluxo de calor na superfície, sem a necessidade de modelos detalhados do perfil vertical do vento para cada passo individual, escolheu-se um processo simplificado que apenas requer, para cada passo, os valores médios do clima e a raiz quadrática média do fluxo de calor da superfície.

6.3. Modelo de alteração da rugosidade

O perfil logarítmico vertical de vento, apenas se aplica quando o terreno na direcção em que sopra o vento é razoavelmente homogéneo. Se não for o caso, observam-se desvios e não

é possível conceder um único valor do parâmetro de rugosidade do terreno. Mesmo no caso em que se conseguem conceder através de distintos métodos diferentes valores do parâmetro de rugosidade, estes vão depender da altura de observação.

Os valores médios da tensão superficial e do vento na superfície, dependem das condições dessa mesma superfície, mas apenas até uma certa distância na direcção oposta à direcção do vento; os obstáculos distantes não são considerados para este efeito, devido ao facto da tendência da camada fronteira atmosférica em encontrar um equilíbrio entre a força do gradiente de pressão e a força de fricção.

6.4. Modelo de obstáculos/efeitos de esteira

O efeito da fricção na superfície do solo é causado pela força de arrasto em obstáculos “pousados” na superfície, que vão desde areia, relva, folhas, etc. até grandes árvores e edifícios. O seu efeito global modela-se através do seu parâmetro de rugosidade superficial. Na proximidade de um determinado obstáculo, a uma distância comparada com a sua altura, o perfil de vento é perturbado, principalmente na direcção do vento, e o objecto tem que ser tratado separadamente. Na parte logo depois a um objecto brusco, no sentido e direcção do vento, como uma fila de árvores ou uma casa (num comprimento menor que cinco vezes a altura do objecto na direcção do vento, e a uma altura menor que o dobro da altura do objecto), os detalhes do objecto têm uma influência bastante importante (Figura 21): por exemplo o efeito logo depois de um edifício depende da geometria da cobertura e do ângulo de incidência do vento, apenas citando dois parâmetros. Adicionalmente, turbulência proveniente de outros obstáculos vizinhos pode interferir, complicando assim, ainda mais as coisas.

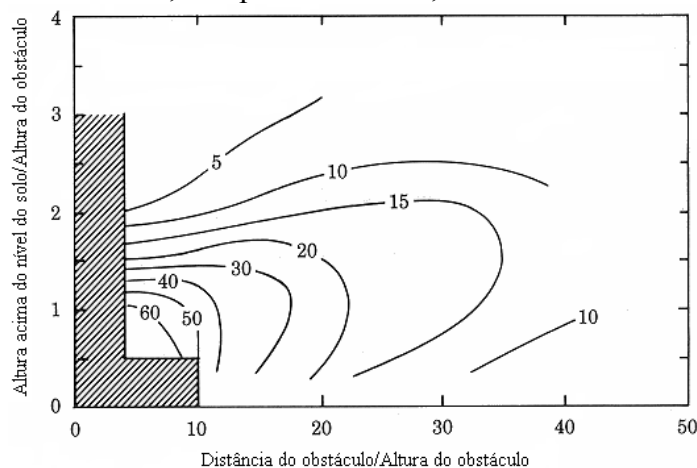


Figura 21: Redução da velocidade do vento, em percentagem, devido ao efeito de um obstáculo bidimensional. European Wind Atlas, Risø 1989

A principal razão de ser referido este problema no modelo do programa WAsP, tem a ver com o facto de algumas séries de dados que se possam vir a introduzir no programa, provirem de estações meteorológicas em que o vento medido é influenciado por obstáculos vizinhos. Para o cálculo da melhor localização de um aerogerador, este problema é geralmente insignificante.

6.5. Modelo orográfico

Tal como nos modelos de alteração da rugosidade e dos obstáculos, o modelo orográfico é usado para corrigir os dados do vento medidos, que são influenciados pelas heterogeneidades

do terreno. No presente modelo, são tratadas diferenças de altura do terreno em redor da estação meteorológica. É de particular importância o efeito produzido pelas ondulações do terreno com escalas horizontais na ordem das dezenas de quilómetros, e o modelo foi desenvolvido essencialmente para este caso.

6.6. Distribuição de *Weibull*

A apresentação dos dados vento, costuma utilizar a distribuição de *Weibull* como ferramenta para representar a distribuição da velocidade do vento de uma forma compacta. Os dois parâmetros da distribuição de *Weibull* são expressos matematicamente como:

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} e^{-(u/A)^k} \quad (3)$$

onde $f(u)$ é a frequência de ocorrência da velocidade do vento u . Os dois parâmetros de *Weibull* são geralmente referidos com parâmetro de escala A e parâmetro de forma k . A influência da forma de $f(u)$ para diferentes valores do factor de forma, é ilustrada na Figura 22.

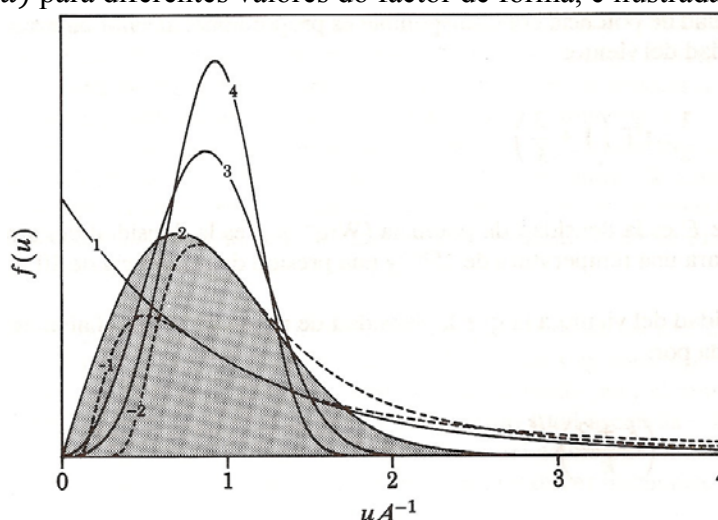


Figura 22: Aspecto da função de densidade da distribuição de *Weibull* para diferentes valores do parâmetro k .
European Wind Atlas, Risø 1989

A distribuição de *Weibull* pode degenerar em duas distribuições especiais: para $k = 1$ é uma distribuição exponencial e para $k = 2$ é uma distribuição de Rayleigh. Como os dados observados do vento possuem distribuições de frequência que são bem aproximadas à distribuição de Rayleigh, esta distribuição é por vezes usada para representar dados do vento.

Diversos métodos diferentes podem ser usados para o ajuste dos dois parâmetros de *Weibull* para um histograma, dando a frequência de ocorrências da velocidade do vento num número de intervalos (*bins*). Se os dados observados são bem representados pela distribuição de *Weibull* sobre toda a gama de velocidades, então os procedimentos de configuração destes parâmetros podem ser escolhidos à vontade. Contudo, geralmente, os histogramas observados mostram desvios devido a variadas razões, e o método de configuração dos dois parâmetros tem que ser seleccionado com base na gama de velocidade do vento relevante para a aplicação.

Para cada sector, os dois parâmetros de *Weibull* são determinados por dois requisitos: a energia eólica total da distribuição de *Weibull* elaborada e a dos dados observados, tem que ser igual; a frequência de ocorrências de velocidades de vento superiores à média de velocidades observada tem que ser a mesma em ambas as distribuições. A combinação destes dois requisitos conduz a uma equação apenas com incógnita k , que é resolvida através de um algoritmo interno do programa.

As maiores dificuldades no ajuste dos dados observados, são relacionadas com o tratamento de velocidades muito baixas e muito elevadas. As velocidades mais elevadas são estatisticamente muito incertas e devem ser aplicados métodos especiais de cálculo para a análise de ventos extremos. Esta análise não é incluída no programa, e a distribuição de *Weibull* aqui mostrada não deve ser utilizada para frequências de ocorrência muito abaixo dos 0,01%.

Para velocidades de vento muito baixas, limitações na resposta dos instrumentos podem levar a erros na frequência de ocorrências. Por vezes, esses erros aumentam anormalmente a frequência do número de horas calmas. Para aplicações no âmbito da energia eólica, a forma precisa da curva de frequências para velocidade inferiores à média é de grande importância, e o método de ajuste deste programa, tem isso em consideração. Contudo é de notar que, para dados do vento em que a média de velocidades é de 3 m/s ou inferior, localizados numa zona relativamente ventosa, mas fortemente afectados por obstáculos locais, os resultados obtidos tornam-se deficientes devido a estas dificuldades. Além deste facto, os modelos físicos usados na análise de ventos com velocidades de ventos baixas, são pouco eficientes [14].

7. Cálculo da potência eólica

Para se proceder ao cálculo da potência eólica, decidiu-se utilizar todos os *datasets* das séries de reanálise do NCEP/NCAR que nos disponibilizassem os dados do vento. Então, utilizaram-se os ficheiros para várias alturas do geopotencial, para os 10 metros acima do nível do solo e para o nível sigma 0,995, que de acordo com a Secção 4.3 e Anexo B são de classe A, excepto os dados de vento para os 10 metros acima do nível do solo, que são de classe B.

7.1. Aquisição e processamento de dados

Como já foi referido na Secção 4.1, para a realização deste trabalho, são utilizados ficheiros *netcdf* que são descarregados através do site www.cdc.noaa.gov. Cada um destes ficheiros apresenta um ano de dados para todo o globo, onde é necessário indicar as coordenadas a que se pretendem os dados, assim como o tempo de dados pretendido; no caso de serem valores com mais de um nível horizontal, como é o caso dos ficheiros para várias alturas do geopotencial, é necessário também indicar o nível de pressão pretendido. Desta forma, apenas se obtém um valor para determinado local e instante pretendido, para a componente U do vento, que é a velocidade na direcção Oeste-Este, ou para a componente V do vento, que é, também, a velocidade, mas na direcção Sul-Norte, uma vez que cada uma destas componentes está presente em dois ficheiros diferentes. Então, através do *software* MatLab®, foi elaborado um *m-file*, de maneira a que fosse possível obter o valor da velocidade do vento e a sua direcção e não cada uma das componentes da velocidade do vento, para uma série temporal pretendida, pois desta forma conseguem-se obter os valores do vento para um elevado número de anos e não para apenas um instante. Recorda-se que quando a direcção do vento é de 0°, este está orientado a Norte (ou seja, vem de Sul para Norte), e o seu sentido directo, é o dos ponteiros do relógio.

7.2. Obtenção dos dados do vento utilizando os valores de pressão

Para a realização do cálculo da potência eólica, é necessário ter os dados de vento observados num determinado local, assim como a altura a que estes se verificaram. Através dos ficheiros com as componentes U e V da velocidade do vento, apenas se obtém os dados do vento e não a altura a que se verificaram; então, também foi necessário proceder à manipulação dos ficheiros da altura do geopotencial, para se saber a que altura estes eram obtidos, para cada um dos diversos níveis de pressão.

7.2.1. Altura do geopotencial

As primeiras observações directas da atmosfera acima da superfície da Terra mostraram que a pressão decresce muito rapidamente (exponencialmente) com a altitude. Em boa aproximação, a pressão mede o peso, por unidade de área, da coluna de ar acima do ponto de medida, pelo que o decréscimo exponencial da pressão implica uma grande concentração da massa da atmosfera nas camadas inferiores. A Figura 23 dá uma ideia aproximada da variação da pressão com a altitude nos primeiros 50 km, indicando que 90% da massa da atmosfera se encontra nos primeiros 20 km, enquanto abaixo dos 50 km se encontra cerca de 99,9% da massa total [13].

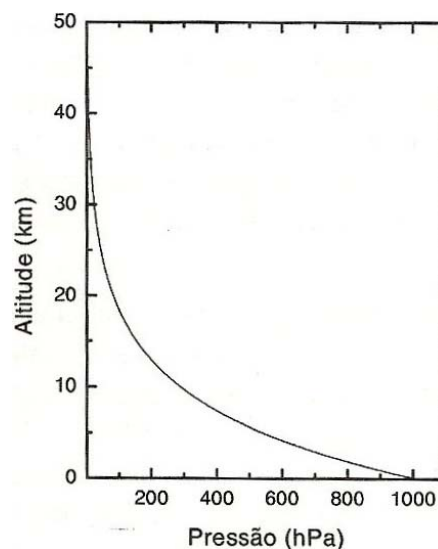


Figura 23: Variação da Pressão com a Altitude. Meteorologia e Ambiente, Lisboa 2001

Retirando todos os valores da altura do geopotencial, elaborou-se o Gráfico 1.

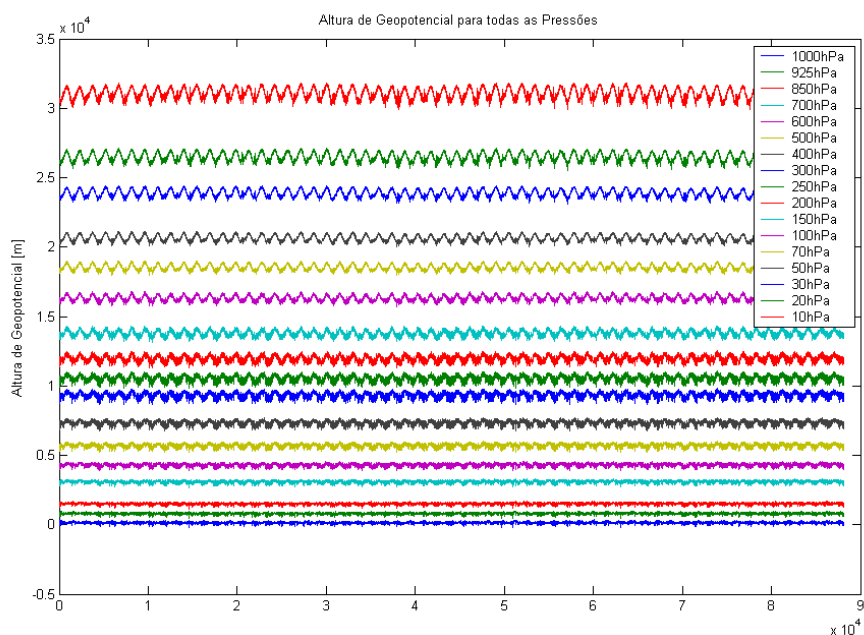


Gráfico 1: 17 níveis de altura do geopotencial

Estes valores foram retirados para o ponto de reanálise que se encontra perto do local de estudo do Açor (Figura 10), para a série temporal desde 1948 até à actualidade. Verifica-se que a partir dos 500 hPa de pressão, o ponto em análise já se encontra acima dos 5 000 metros; como já é uma altura considerável, apenas se fez a simulação com os primeiros cinco níveis de pressão.

Também é de verificar, que o valor da altura do geopotencial não é estático, então para a altura a que se verificaram os dados de vento, irá ser utilizado o valor médio para a mesma série temporal. Para se proceder também, à evolução e variação da altura do geopotencial para cada um dos níveis, atente-se ao Gráfico 2, onde se mostra a variação adimensional para os 17 níveis de pressão.

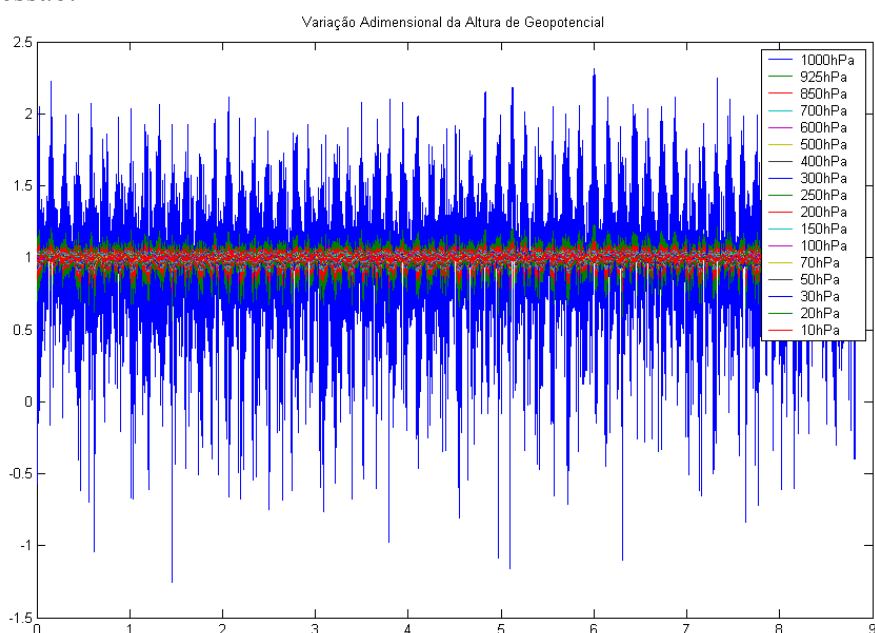


Gráfico 2: Variação média adimensional da altura do geopotencial para os 17 níveis

Para a pressão de 1 000 hPa, a sua variação é extremamente elevada, fazendo até que as diferenças entre o valor máximo e o mínimo verificado, ultrapassassem os 500 metros. Verificando a variação da média adimensional para os outros 16 níveis (Gráfico 3), constata-se que a variação para a pressão de 925 hPa já não é tão elevada, mas continua a ser grande, quando comparada com os restantes níveis.

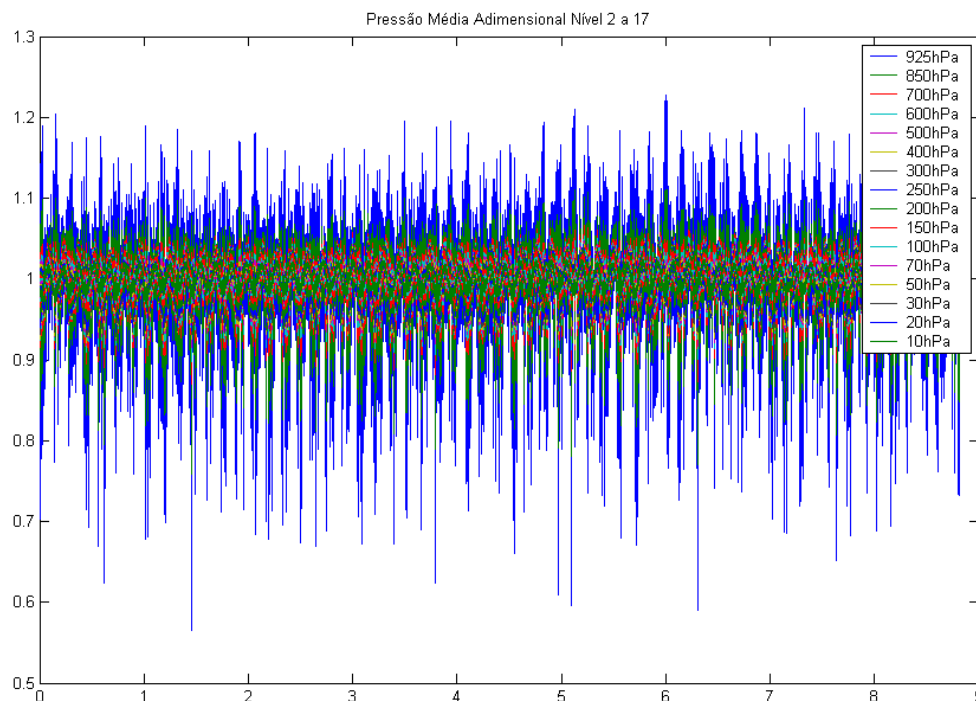


Gráfico 3: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 925 hPa até ao de 10 hPa

A título de curiosidade, no Anexo H, encontram-se representadas as variações adimensionais para os restantes níveis, e verifica-se que à medida que se vai subindo na atmosfera, esta variação vai sendo cada vez menos significativa.

Dois outros factores que levaram a que também não se utilizasse este nível de pressão, têm a ver com o facto existirem diversos valores com a cota negativa, ou seja, abaixo do nível do mar e a sua média de alturas estar “abaixo do nível do solo”; ou seja, a cota do solo é de 391 metros, e a altura média acima no nível do mar, para a altura do geopotencial é de 150,5 metros. Isso reflecte que existiram poucos dias em que se verificou esta pressão do geopotencial naquele local, daí a sua média ser tão baixa.

Para o primeiro cálculo foram trabalhadas as séries de reanálise para a totalidade temporal, ou seja, desde 1 de Janeiro de 1948. Então, obtidos os dados do vento e alturas do geopotencial para cada um dos pontos de interesse, um para o Açor outro para S. Pedro de Portel, foram conseguidas quatro rosas-dos-ventos e quatro distribuições de *Weibull* para cada um dos locais, correspondendo às pressões de 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 600 hPa. Estas distribuições de *Weibull*, indicam qual a disponibilidade de determinada velocidade do vento.

7.2.2. Distribuição das velocidades do vento para o Açor a partir dos valores de pressão

Para este local de estudo, através da velocidade e direcção do vento observado, foram obtidos os seguintes histogramas e distribuições para cada uma das pressões (valores obtidos a partir das séries de reanálise do NCEP/NCAR):

➤ 925 hPa

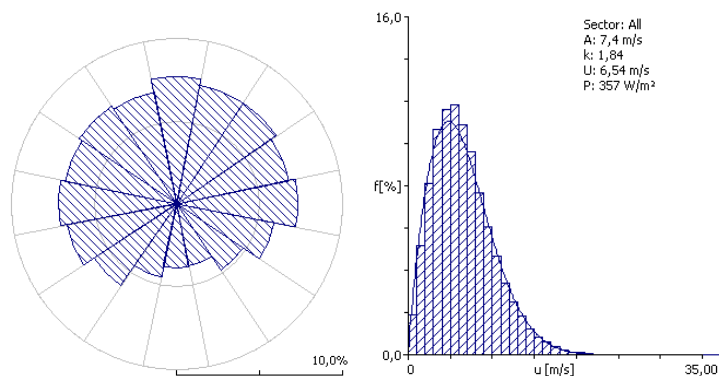


Figura 24: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 925 hPa para o ponto do Açor

➤ 850 hPa

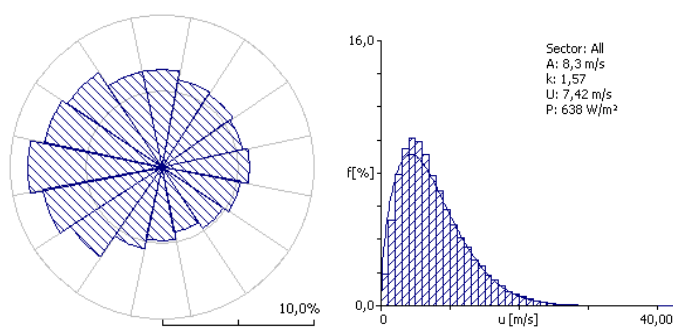


Figura 25: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 850 hPa para o ponto do Açor

➤ 700 hPa

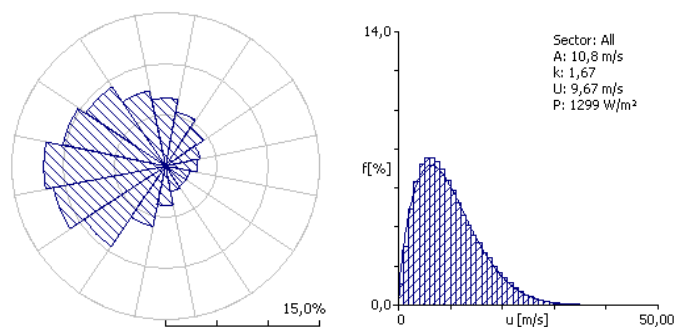


Figura 26: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 700 hPa para o ponto do Açor

➤ 600 hPa

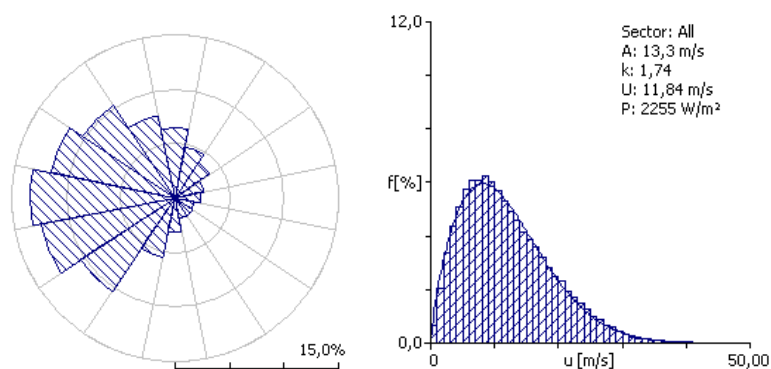


Figura 27: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 600 hPa para o ponto do Açor

Verifica-se que à medida que se vai subindo na atmosfera, o vento, que não tem uma direcção predominante, excepto a sua ausência do Sul, vai sendo alterado para ser predominante de Oeste e, tal como era de esperar, a sua potência eólica vai aumentando.

7.2.3. Distribuição das velocidades do vento para S. Pedro de Portel a partir dos valores de pressão

Tal como foi feito para o local da Serra do Açor, também foi feito para o local perto da albufeira do Alqueva. Os valores obtidos foram os seguintes:

➤ 925 hPa

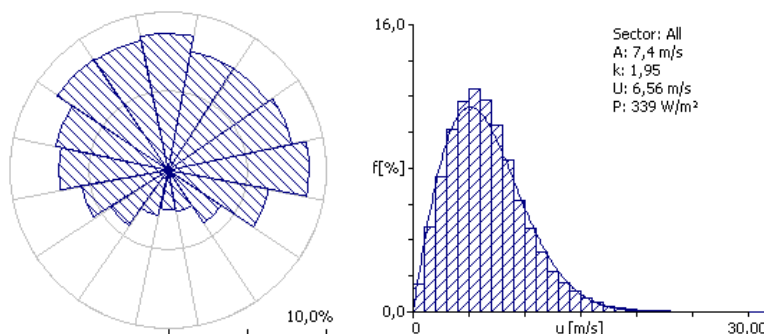


Figura 28: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 925 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel

➤ 850 hPa

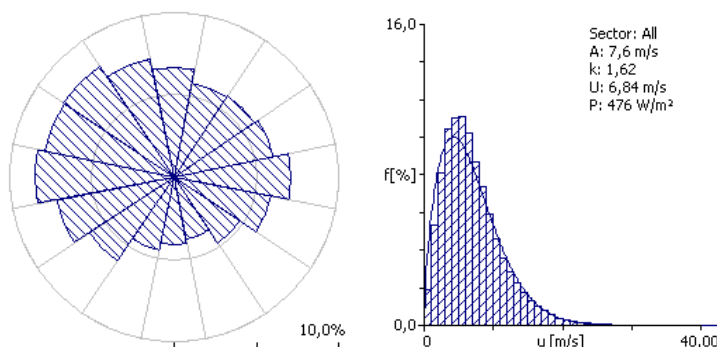


Figura 29: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 850 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel

➤ 700 hPa

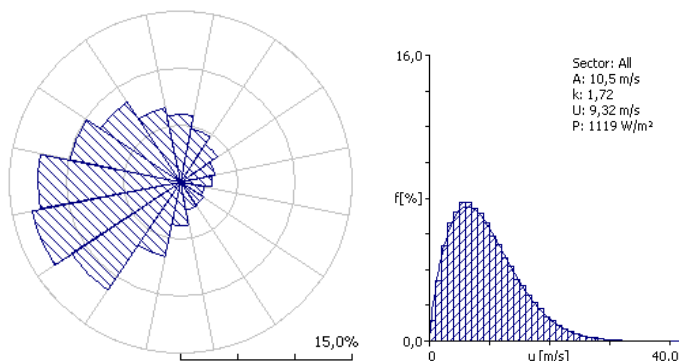


Figura 30: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para os 700 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel

➤ 600 hPa

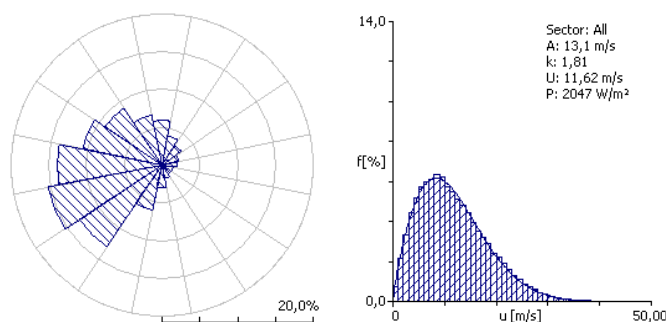


Figura 31: Rosa-dos-ventos e distribuição de Weibull para os 600 hPa para o ponto de S. Pedro de Portel

O que acontece no caso do Açor, também se verifica com os dados provenientes das séries de reanálise do NCEP/NCAR, para S. Pedro de Portel, onde para altitudes mais elevadas a sua direcção predominante é de Oeste.

7.3. Obtenção dos dados do vento utilizando o nível sigma 0,995

Tal como no caso dos dados do vento obtidos a partir da pressão, para este caso, também é necessário saber a altura a que se referem os dados do vento observados. No caso anterior, essa altura foi obtida através dos ficheiros da altura do geopotencial; neste caso são obtidas a partir do ficheiro da altura do geopotencial, mas para o nível sigma 0,995.

Como foi referido na Subsecção 4.4.2, esta altura do geopotencial é constante no tempo; então, dando apenas as coordenadas do ponto em questão, obtém-se o valor da cota vertical acima do nível do solo a que estas observações se verificaram.

Este sistema de coordenadas verticais sigma, assegura que o mesmo número de níveis está presente em todos os pontos da grelha, seja qual for a altura da superfície [21], ao contrário do que acontece com os níveis da altura do geopotencial que nem sempre estão presentes para todas as alturas, pois, nalguns casos, a “altura” está abaixo no nível do solo, havendo até alguns casos que está a uma cota “negativa”

Como estes valores são invariantes no tempo, foi elaborado o seguinte gráfico, para se poder verificar a variação da altura do geopotencial de ponto para ponto:

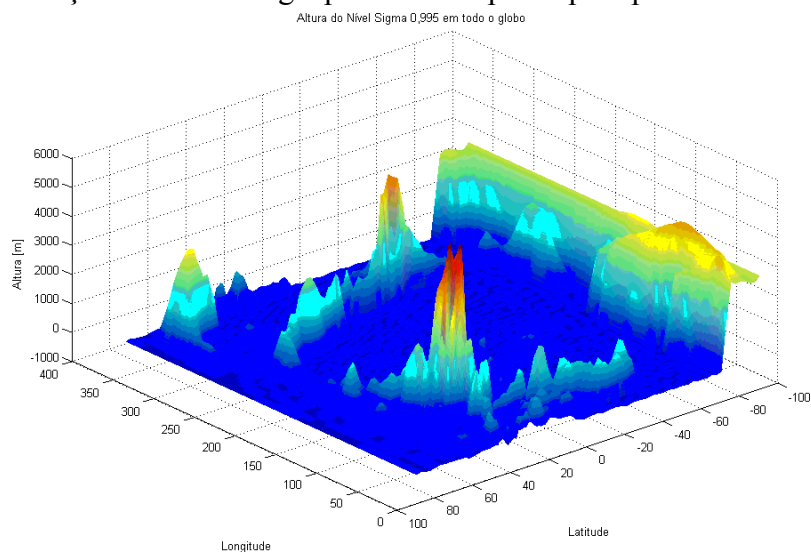


Gráfico 4: Altura do geopotencial do nível sigma 0,995 em todo o globo

Verifica-se que sobre a Antártida, a altura do geopotencial é muito elevada, acima dos 2 000 metros, assim como outros pequenos locais. A zona mais elevada, ultrapassa os 5 000 metros de altura, e está situada no Oceano Índico, ao largo do Corno de África; a zona mais baixa que fica mesmo em frente da zona mais elevada (Gráfico 4) situa-se em África, fazendo “uma diagonal” entre Angola e o Corno de África; existe também a zona da Gronelândia, a zona oeste da América do Norte e Central, assim como a costa do Pacífico e zona costeira da América do Sul com cotas, também bastante elevadas. Como o nível sigma é uma coordenada vertical que, neste caso, é função da pressão instantânea, da pressão à superfície e da pressão no topo do modelo nesse mesmo ponto da grelha, quer dizer que nestes locais, o modelo é estudado para uma altitude maior que os restantes pontos da grelha; daí grande a diferença de altura em relação ao nível do solo entre estes locais mais elevados e os restantes, para o mesmo nível sigma.

7.3.1. Distribuição das velocidades do vento para o Açor a partir dos valores de nível sigma 0,995

Tal como foi feito para o caso anterior, são apresentados em seguida o histograma e distribuição do vento obtido:

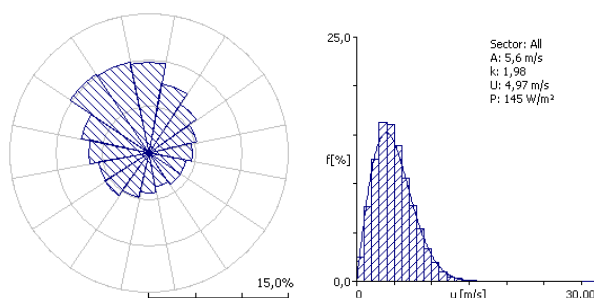


Figura 32: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para o nível sigma 0,995 para o ponto do Açor

Estes dados do vento são para uma altura acima do nível do solo de 442 metros.

7.3.2. Distribuição das velocidades do vento para S. Pedro de Portel a partir dos valores de nível sigma 0,995

Tal como foi feito para o Açor, o histograma e distribuição do vento retirados para uma altura de 27 metros, obtida a partir da sua velocidade e direcção, para S. Pedro de Portel são os seguintes:

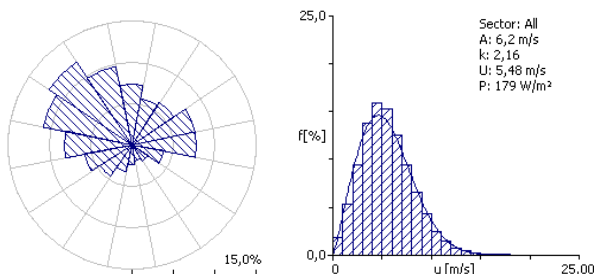


Figura 33: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para o nível sigma 0,995 para o ponto de S. Pedro de Portel

7.4. Obtenção dos dados do vento para 10 metros acima da superfície

O método de obtenção destes dados é igual aos anteriores, apenas com a diferença de já se saber à partida, a altura a que são obtidos os dados do vento. Estes ficheiros das séries de rea-

nálise, pelas razões referidas na Secção 5.2, apenas são estudados para o ponto de S. Pedro de Portel. O histograma e distribuição do vento são os seguintes:

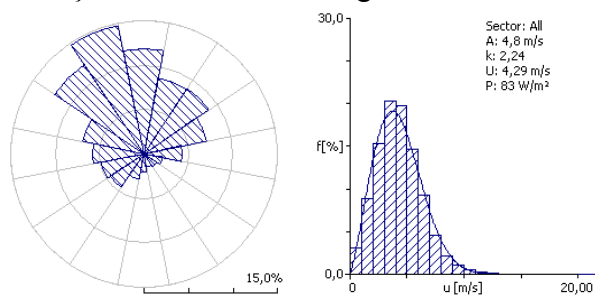


Figura 34: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* para 10 metros acima do nível do solo para o ponto de S. Pedro de Portel

7.5. Dados de vento locais

Antes de se proceder ao cálculo da potência, a partir dos dados de vento recolhidos pelas séries de reanálise, analisa-se primeiramente o local em estudo a partir dos dados de vento locais.

7.5.1. Dados locais do Açor

Como referido, este local é estudado a partir da estação de medição PORT027. Para este trabalho vão-se utilizar dados do vento desde o começo em funcionamento desta estação (início de 1995), até ao mês de Fevereiro de 2008. Os dados observados são os seguintes:

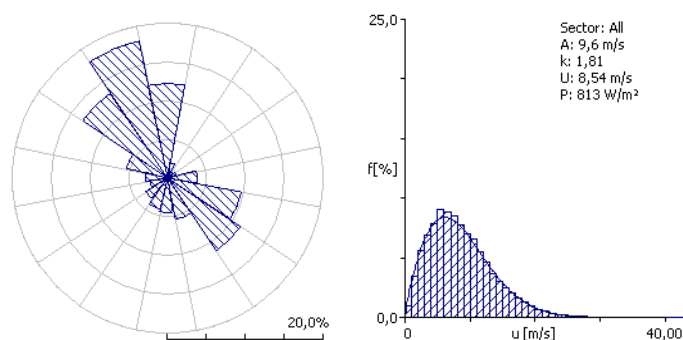


Figura 35: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* dos dados observados na estação de medição PORT027

Para se proceder ao cálculo da potência eólica através do programa WAsP, fez-se uma malha cuja fronteira dista 3 km da estação de medição tendo, portanto, uma área de estudo com um quadrado de $6 \times 6 \text{ km}^2$, com uma resolução de 50 metros. Isto quer dizer que, para a área de 36 km^2 , o programa vai fazer o cálculo para cada um dos quadrados de $50 \times 50 \text{ m}^2$.

O histograma e a distribuição do vento calculados foram os seguintes:

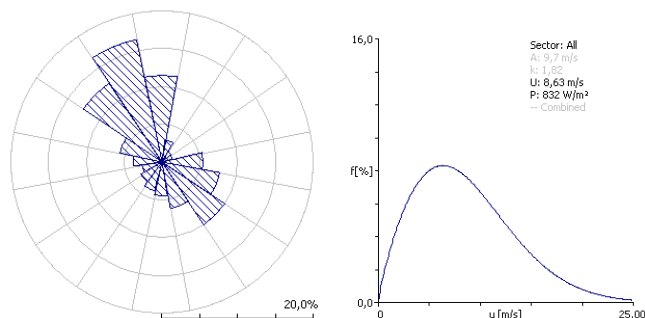


Figura 36: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT027

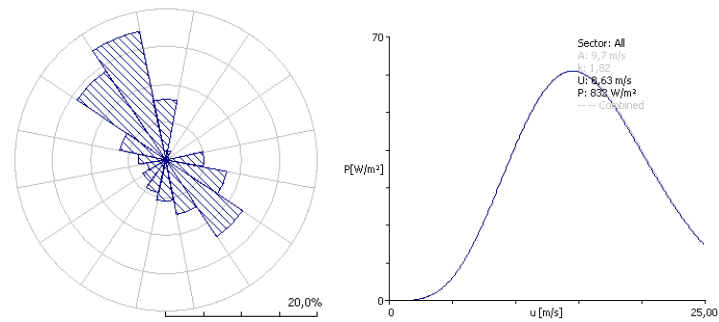


Figura 37: Rosa dos Potência e distribuição de Weibull calculadas para o local da estação de medição PORT027

Verifica-se que praticamente não existe diferença entre os dados observados e os dados previstos, o que já era de esperar, uma vez que a previsão é feita exactamente para o mesmo local e mesma altura para onde foram observados os dados de vento.

Os resultados que se obtiveram para a grelha de 36 km² estão apresentados nas duas próximas figuras:

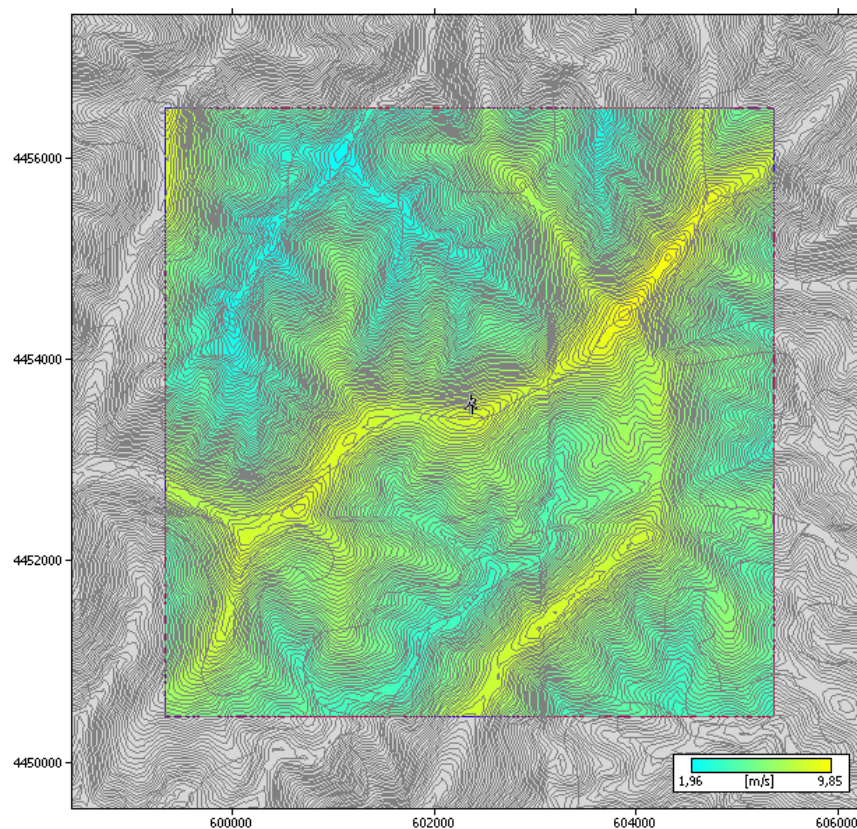


Figura 38: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor

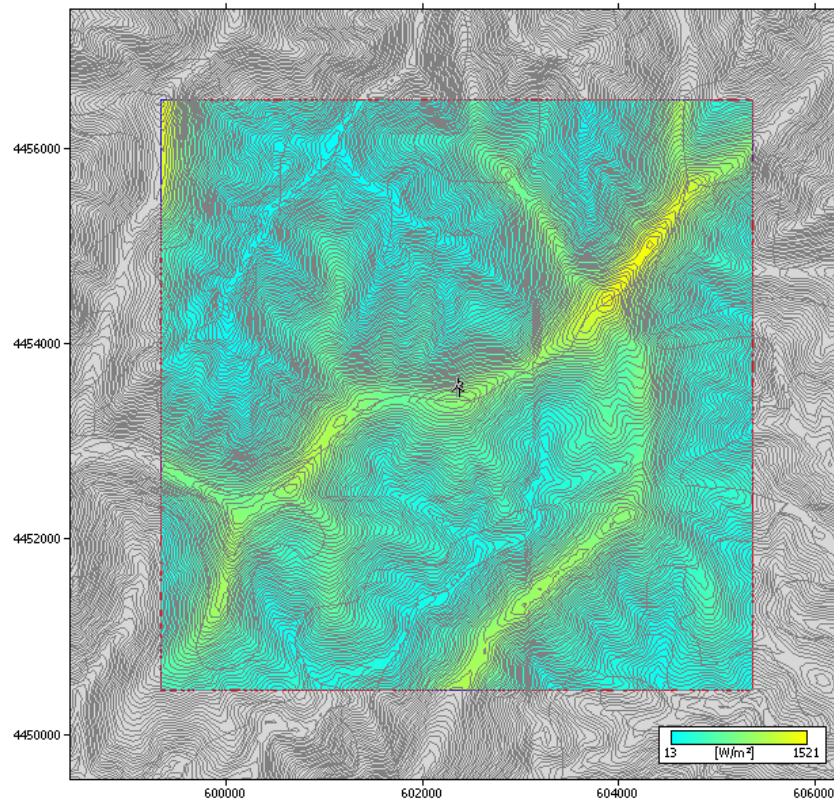


Figura 39: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor

Os resultados que se obtiveram para esta grelha foram os seguintes:

Tabela 1: Resultados verificados na Grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos por medições locais

Variável	Média	Máximo	Mínimo
Velocidade Média [m/s]	5,68	1,96	9,85
Densidade de Potência [W/m ²]	345	13	1521
Elevação [m]	945,9	447,0	1320,0

7.5.2. Dados locais de S. Pedro de Portel

À semelhança do que foi feito para o Açor, os dados do vento observados localmente são os seguintes:

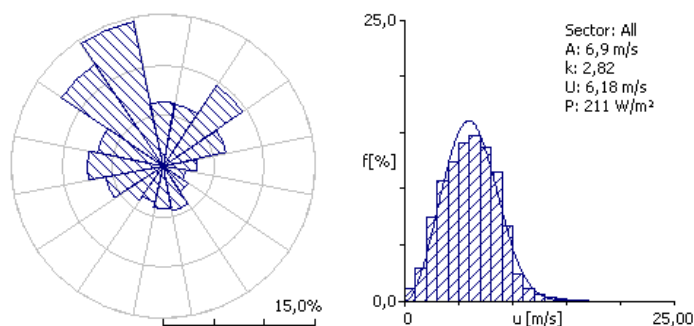


Figura 40: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* dos dados observados na estação de medição PORT284

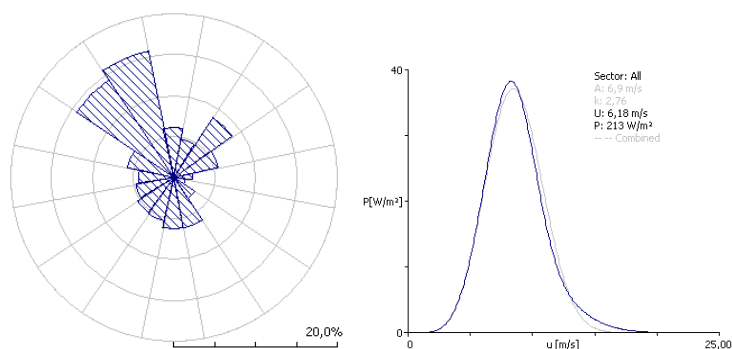


Figura 41: Rosa de potência e distribuição de *Weibull* dos dados observados na estação de medição PORT284

Estes dados provêm da estação de medição PORT284 e são retirados para o período que vai desde Agosto de 2004 até Fevereiro de 2008. Esta estação, muito mais recente que a anterior, contém um período menos extenso de dados.

A malha utilizada para o cálculo através do programa WASP tem exactamente as mesmas dimensões que a anterior e, tal com o caso do Açor, a estação de medição está inserida mesmo no centro da referida malha. Tal como dito na Subsecção 5.2.2, dada a extensão deste local, são utilizados dois mapas diferentes (dada a limitação de 1 milhão de pontos do programa), mas os resultados obtidos para cada um destes mapas é praticamente idêntico sendo apenas apresentados os resultados para um caso.

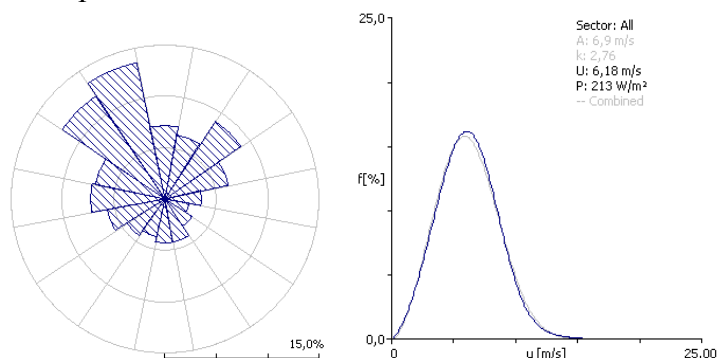


Figura 42: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284

Tal como no caso do Açor, praticamente não existe diferença entre os valores observados e os previstos e os valores calculados para a grelha em torno do ponto de previsão foram os seguintes:

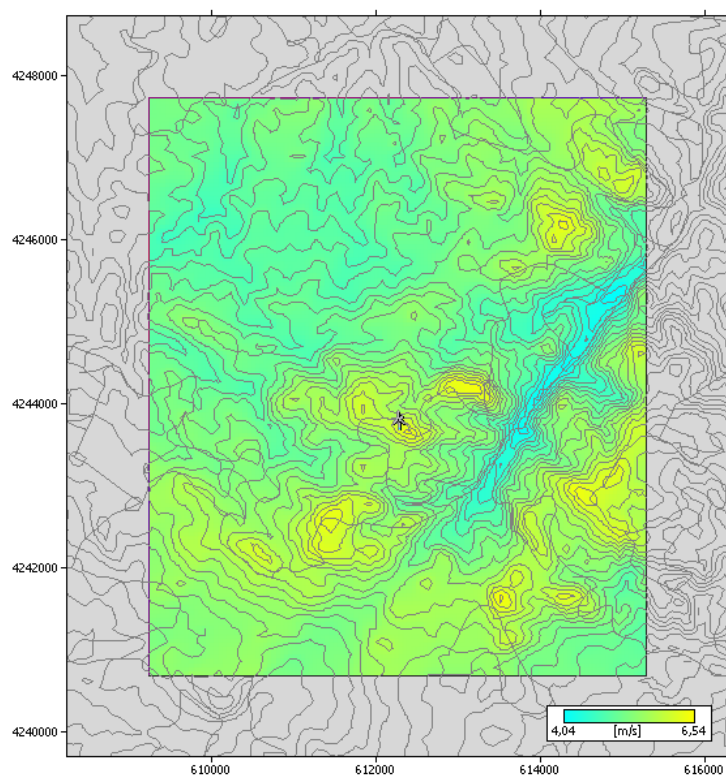


Figura 43: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel

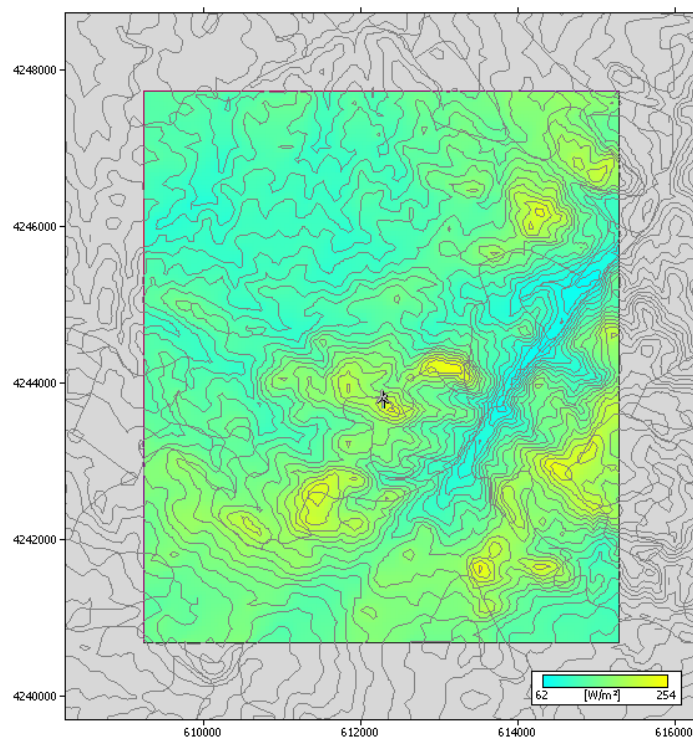


Figura 44: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel

E os resultados obtidos são os seguintes:

Tabela 2: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel para o mapa para o ponto de pressão a partir dos dados obtidos por medições locais

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	5,30	4,05	6,53
Densidade de Potência [W/m ²]	138	62	253
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

7.6.Cálculo da potência eólica para o ponto do Açor

7.6.1. A partir do ponto de pressão

Para este ponto de estudo foram obtidas as seguintes rosas-dos-ventos e distribuições de *Weibull*, para cada um dos pontos de pressão:

➤ 925 hPa

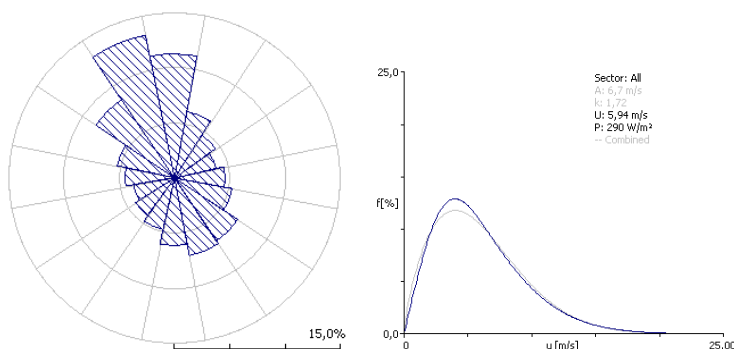


Figura 45: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 925 hPa

➤ 850 hPa

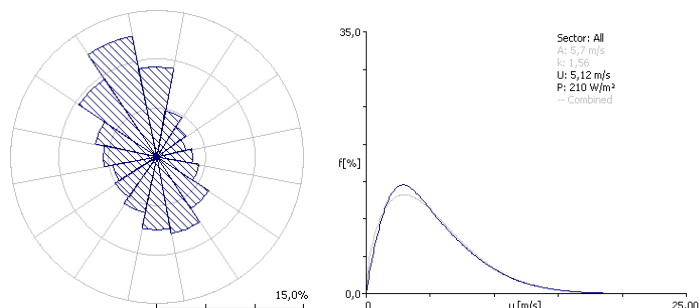


Figura 46: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 850 hPa

➤ 700 hPa

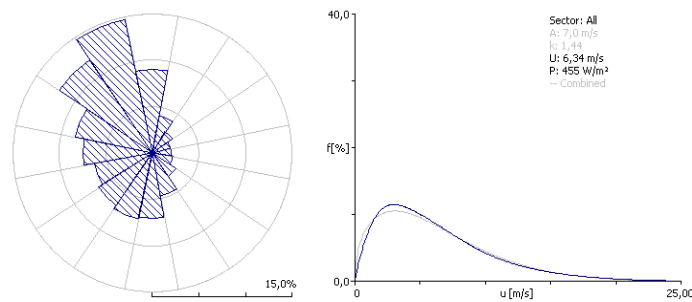


Figura 47: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 700 hPa

➤ 600 hPa

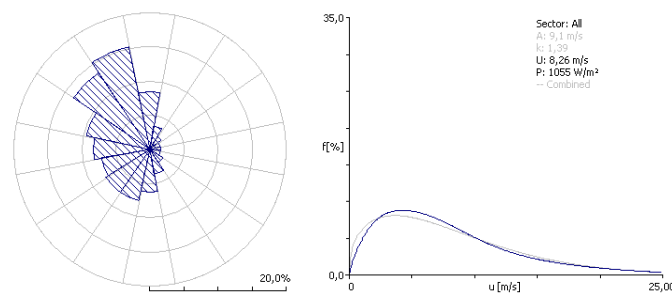


Figura 48: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de pressão de 600 hPa

Comparando estas quatro figuras com a Figura 36, constata-se que as rosas-dos-ventos que foram calculadas, conseguem ter uma boa aproximação com a rosa-dos-ventos obtida pelos dados locais; mas em contrapartida, as distribuições de *Weibull* são bastante diferentes, sendo a melhor aproximação, a obtida pelos dados de reanálise aos 600 hPa de pressão.

Em seguida, são mostradas as rosas de potência assim como as distribuições de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista, por cada um dos diferentes níveis de pressão.

➤ 925 hPa

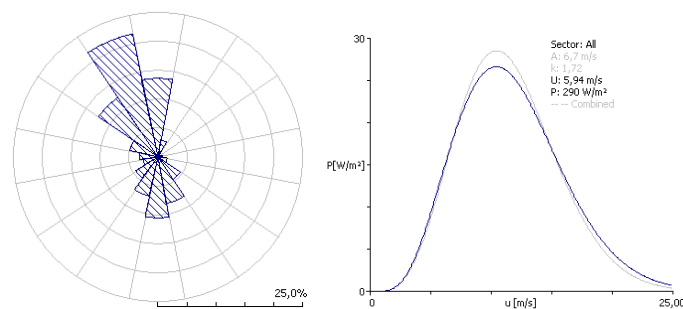


Figura 49: Rosa de Potência e distribuição de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 925 hPa

➤ 850 hPa

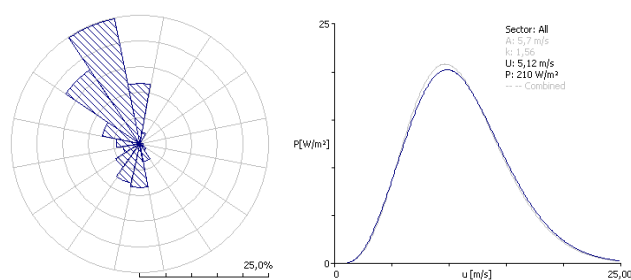


Figura 50: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 850 hPa

➤ 700 hPa

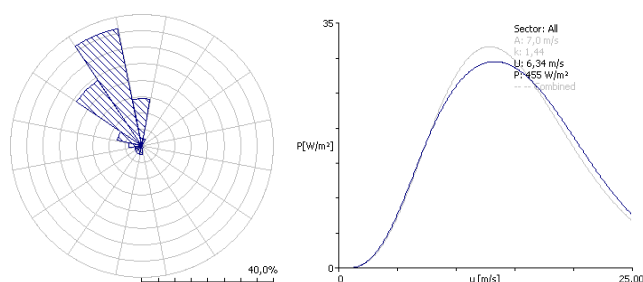


Figura 51: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 700 hPa

➤ 600 hPa

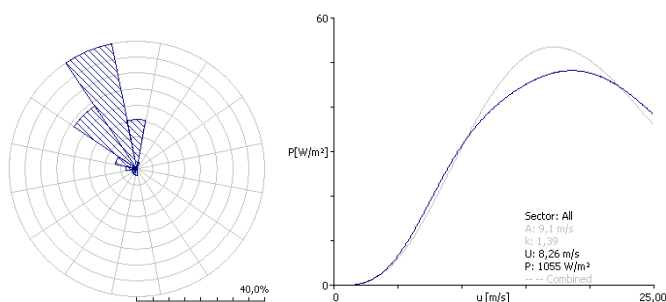


Figura 52: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista para o ponto do Açor obtida a partir dos dados de 600 hPa

Observa-se que os valores da potência previstos, a partir dos dados de reanálise, não estão aproximados com os valores que se obtiveram a partir dos dados locais de vento; à medida que se vai subindo na atmosfera, a potência disponível provem, apenas de três sectores, fazendo com que não exista potência disponível a partir dos sectores de Sudeste, ao contrário daquilo que acontece na realidade.

Para este trabalho não se tornar ainda mais extenso, foram remetidas para anexo (Anexo I) as previsões obtidas em cada $50 \times 50 \text{ m}^2$ da grelha, tanto da velocidade média como da potência, em torno do ponto de previsão, estando apenas presente em baixo, figuras que representam as discrepâncias obtidas entre os valores previstos pelas séries de reanálise e os valores obtidos a partir dos dados locais.

➤ Discrepâncias obtidas da velocidade média para cada um dos níveis de pressão:

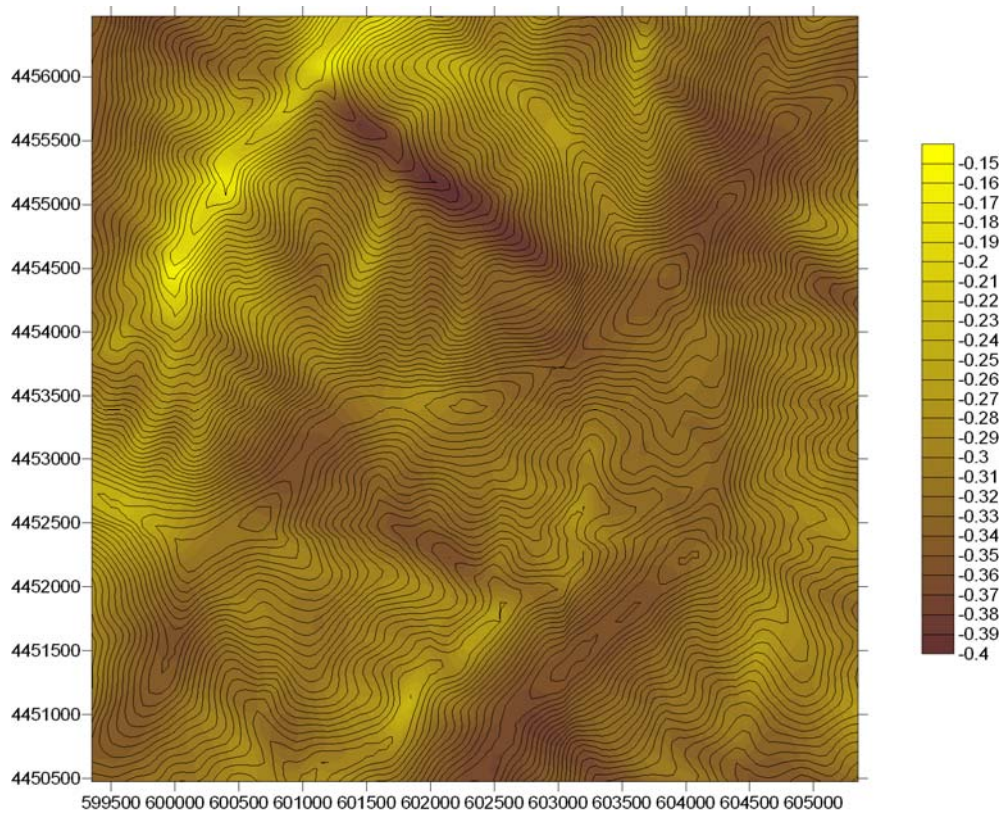


Figura 53: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise 925 hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

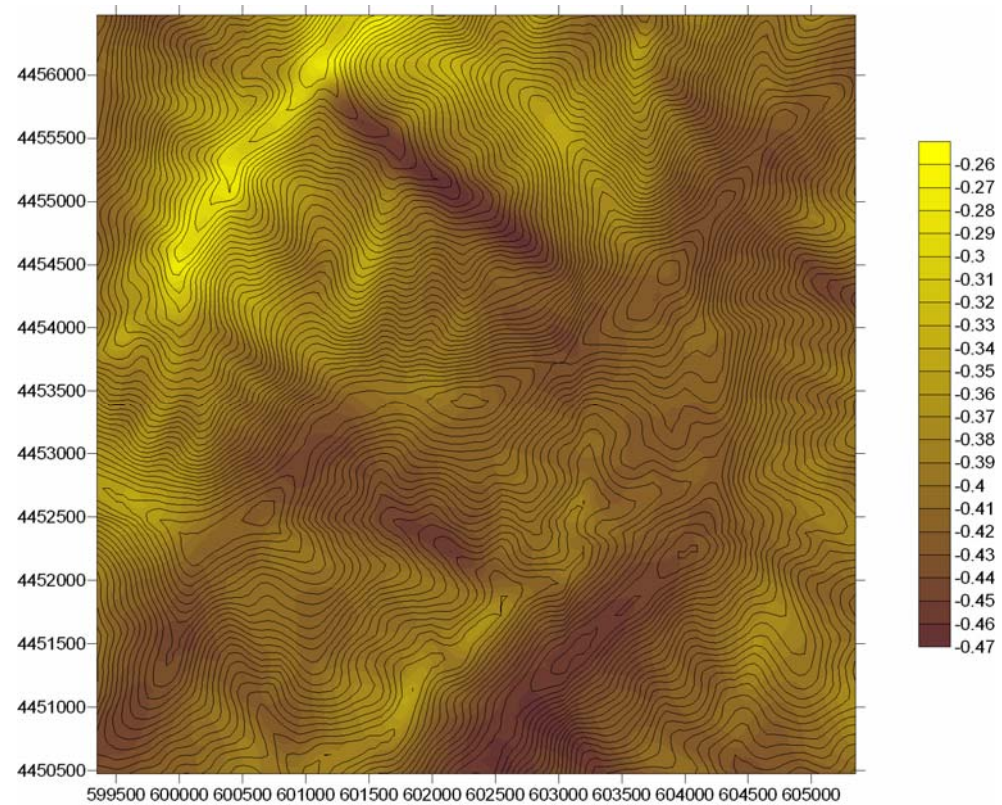


Figura 54: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise 850 hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

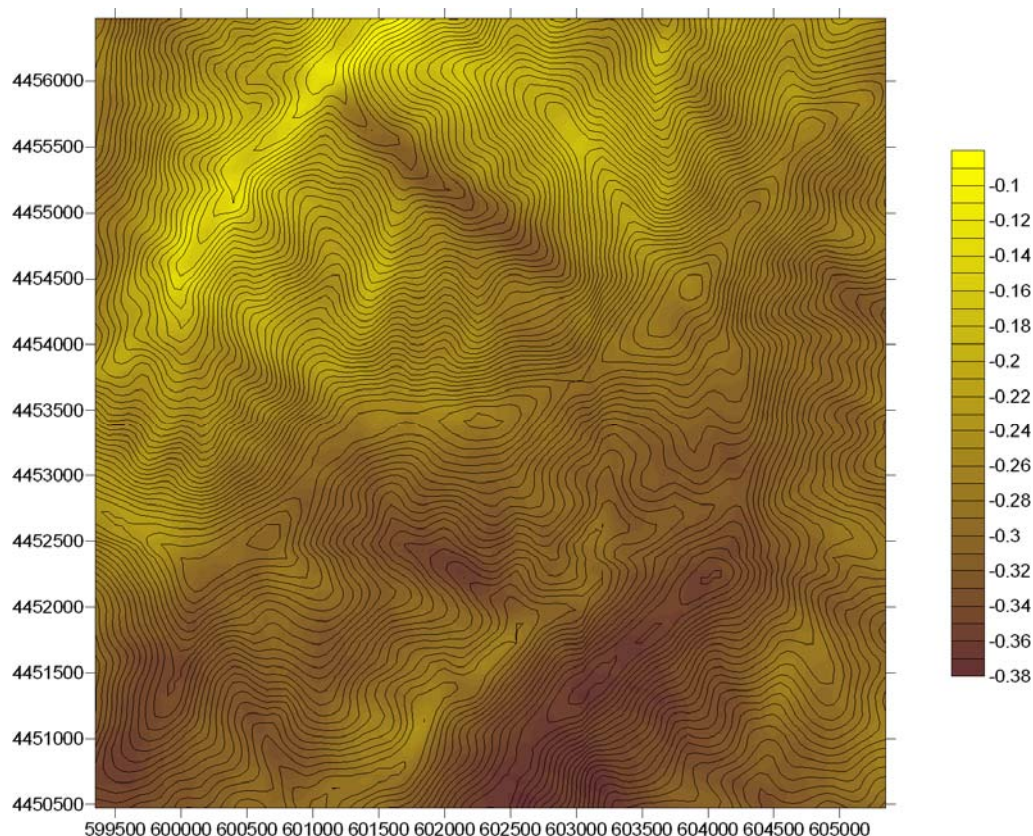


Figura 55: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise } 700 \text{ hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

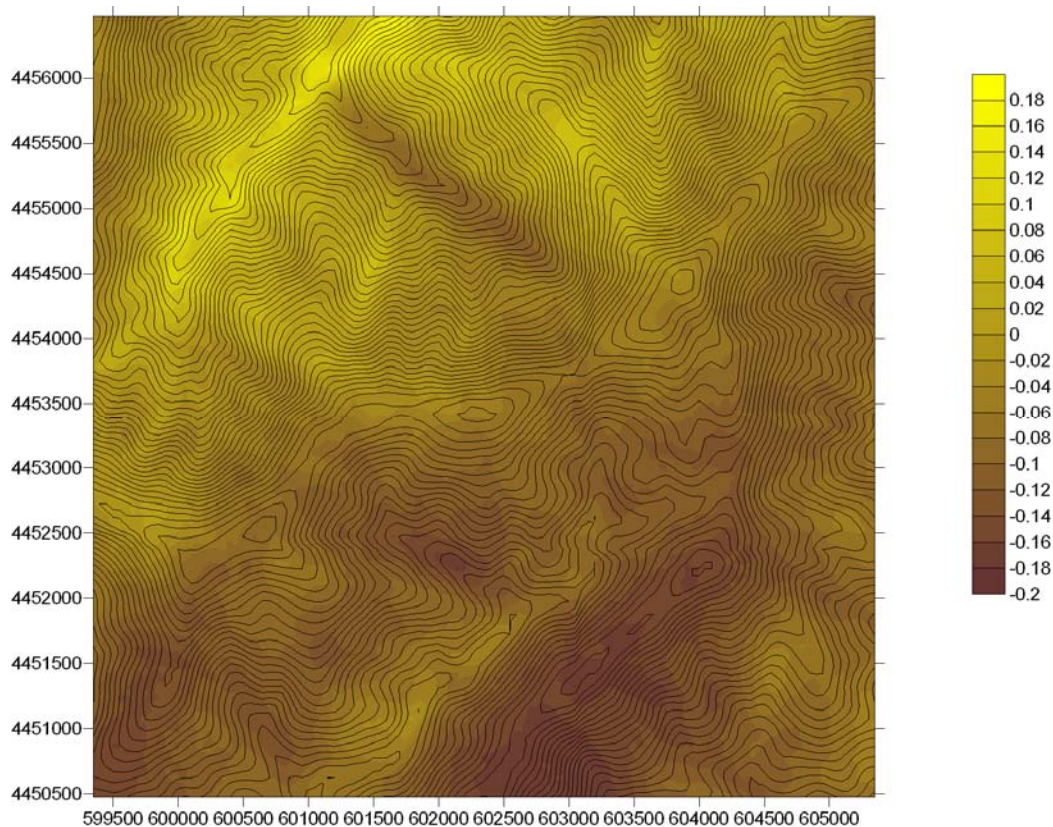


Figura 56: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise } 600 \text{ hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

Pela observação destas quatro figuras, verifica-se que os valores previstos diferem bastante do obtido a partir dos dados de vento locais; contudo, à medida que se vai subindo na atmosfera essa discrepância vai sendo atenuada, mas sendo sempre bastante elevada. Com excepção dos resultados obtidos para a pressão do geopotencial de 600 hPa, todos os outros resultados estão abaixo do valor esperado: para os 600 hPa os resultados oscilam entre valores que se encontram abaixo do esperado e os valores que se encontram acima.

- Discrepâncias obtidas da densidade de potência para cada um dos níveis de pressão:

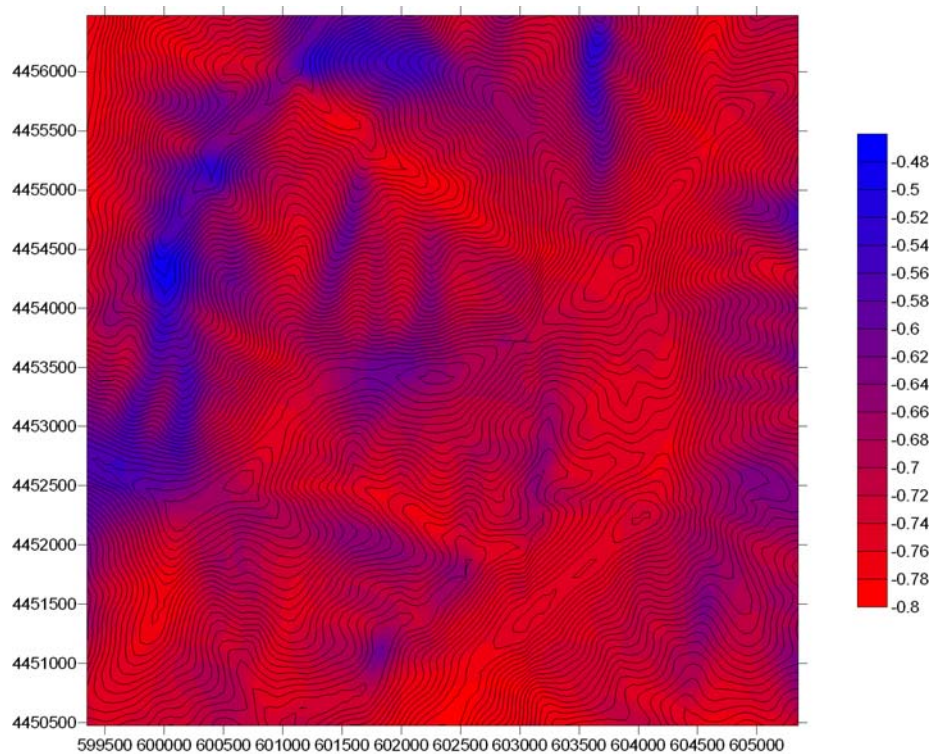


Figura 57: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise } 925 \text{ hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

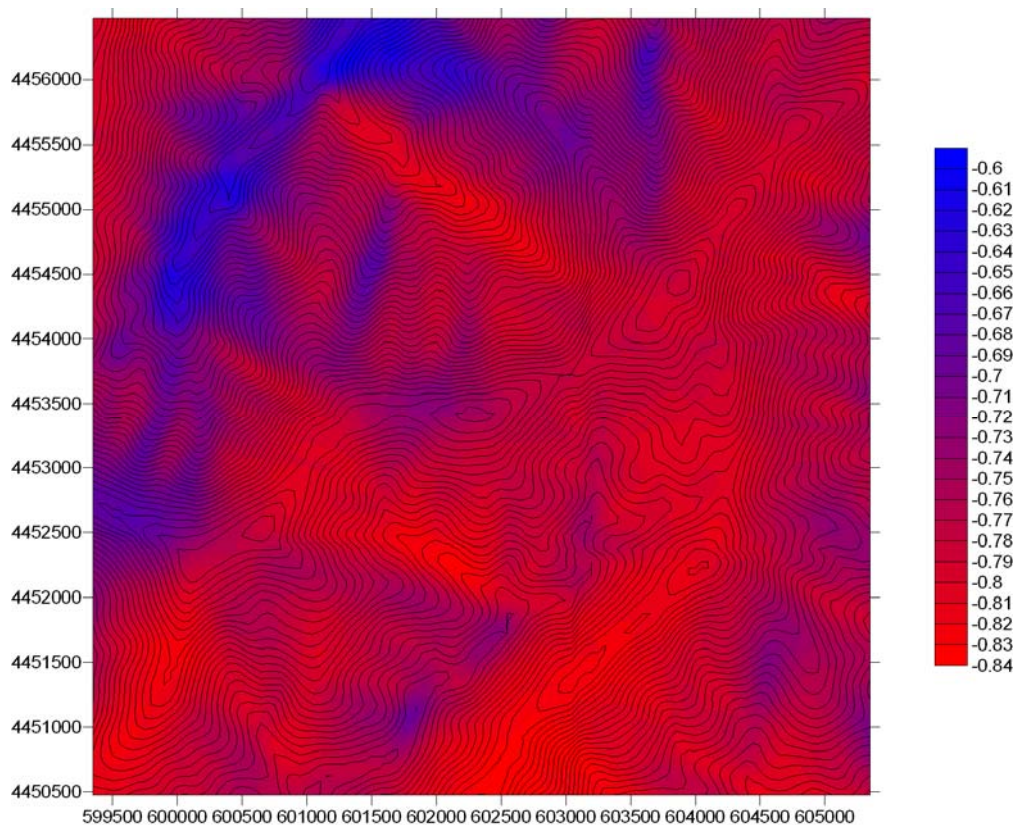


Figura 58: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise } 850 \text{ hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

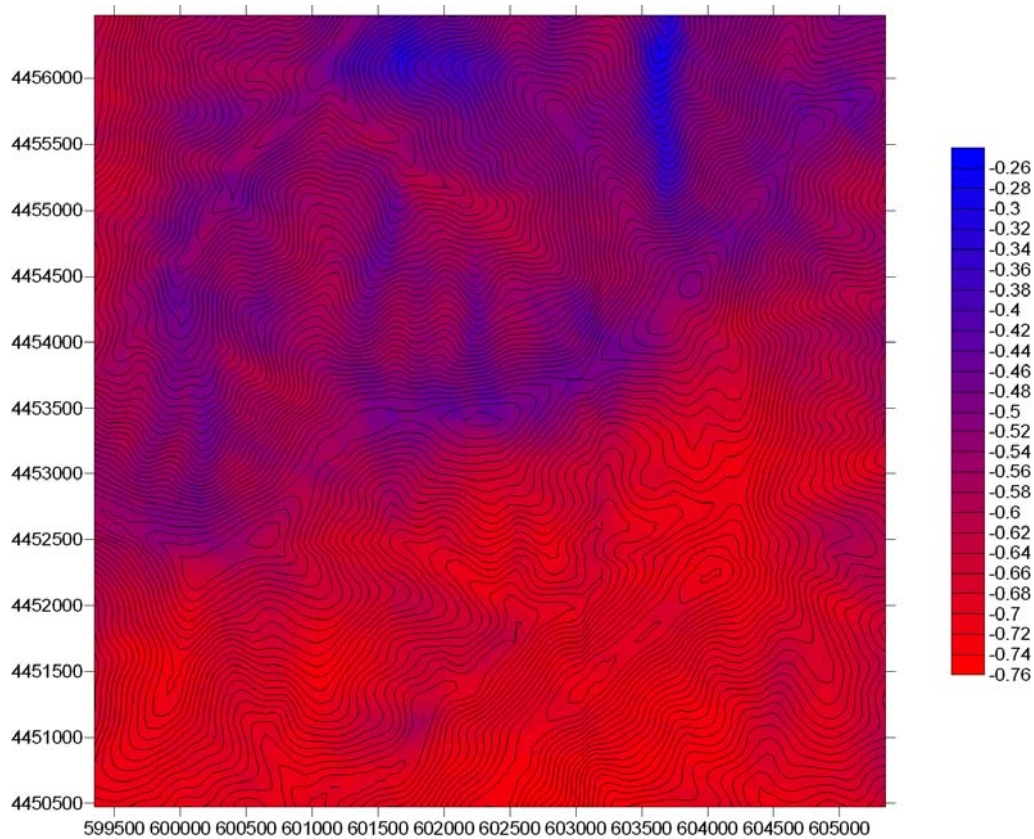


Figura 59: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – $(\text{Reanálise } 700 \text{ hPa} - \text{PORT027})/\text{PORT027}$

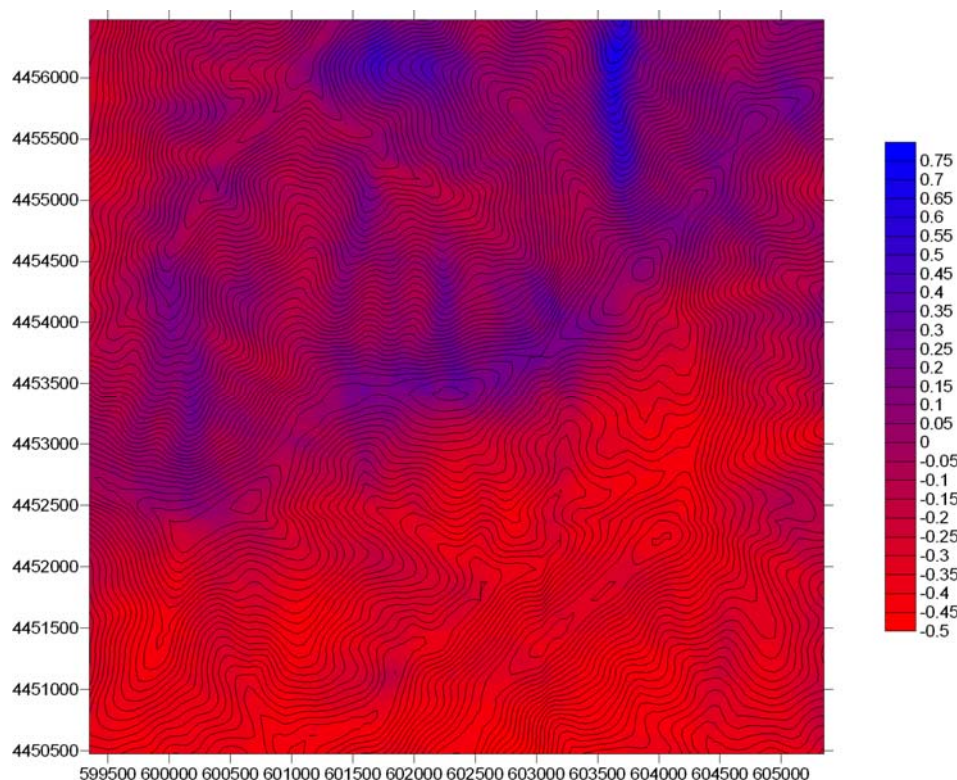


Figura 60: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – (Reanálise 600hPa – PORT027)/PORT027

Tal como no caso das figuras da velocidade média, pela observação destas figuras, pode-se dizer que os resultados não são nada satisfatórios. Nos primeiros três níveis de pressão, a densidade de potência está abaixo do valor previsto pelos dados locais, para os 600 hPa de pressão do geopotencial esse valor ainda oscila mais, desde resultados 75% acima dos valores esperados, como resultados que são 50% inferiores aos verificados pelos dados locais.

➤ Resultados obtidos

Os resultados verificados para esta grelha foram os seguintes:

Tabela 3: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 925 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	3,89	1,52	6,49
Densidade de Potência [W/m ²]	98	5	378
Elevação [m]	945,9	477,0	1320,0

Tabela 4: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 850 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	3,37	1,35	5,71
Densidade de Potência [W/m ²]	77	4	315
Elevação [m]	945,9	477,0	1320,0

Tabela 5: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 700 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	4,08	1,68	7,26
Densidade de Potência [W/m ²]	138	7	761
Elevação [m]	945,9	477,0	1320,0

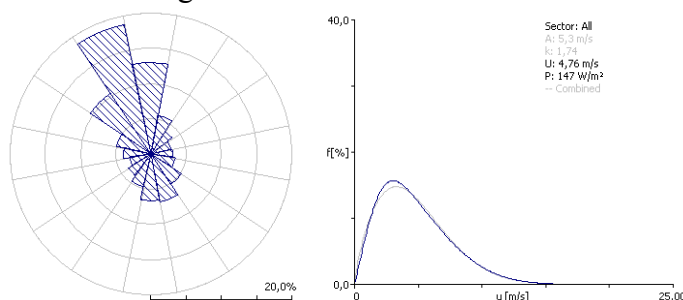
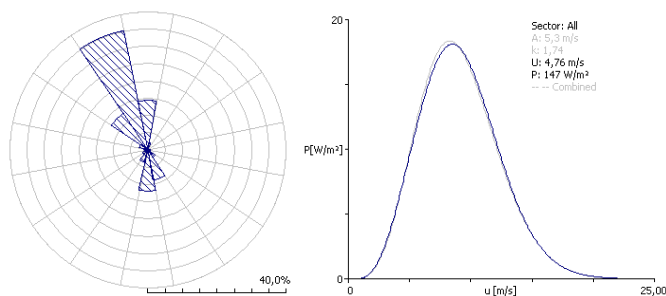
Tabela 6: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados para os 600 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	5,33	2,19	9,56
Densidade de Potência [W/m ²]	298	15	1720
Elevação [m]	945,9	477,0	1320,0

Comparando estes resultados com os da Tabela 1, verifica-se que os valores se encontram muito aquém dos valores esperados, tal como tem acontecido com o resto dos resultados. O melhor resultado, e também a única exceção, obtém-se com os resultados obtidos para os 600 hPa de altura do geopotencial, mas mesmo assim, com algumas diferenças.

7.6.2. A partir do ponto do nível sigma 0,995

Tal como foi feito para os pontos de pressão do geopotencial, em seguida apresentam-se os resultados obtidos a partir destes valores de reanálise. As rosas-dos-ventos, de potência e as distribuições de *Weibull* foram as seguintes:

**Figura 61: Rosa-dos-ventos e distribuição de Weibull calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de nível sigma 0,995****Figura 62: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do ponto de nível sigma 0,995**

Comparando os resultados obtidos com aqueles que advieram a partir dos dados locais (Figura 36 e Figura 37) verifica-se que, tal como tinha acontecido com os resultados obtidos pelos dados de pressão do geopotencial, a rosa-dos-ventos está bastante parecida, mas em contrapartida, a distribuição de *Weibull* fica muito aquém daquilo que era de esperar. A rosa de potência não está tão parecida como no caso da rosa-dos-ventos, mas não é uma rosa que se possa dizer, que tem uma forma muito diferente da verificada a partir dos dados locais.

As previsões obtidas em cada 50x50 m² da grelha de em torno do ponto de previsão encontram-se no Anexo J, apresentando-se em baixo, tal como no caso anterior, duas figuras com as discrepâncias verificadas entre a velocidade média e a densidade de potência, assim como os resultados verificados nesta grelha.

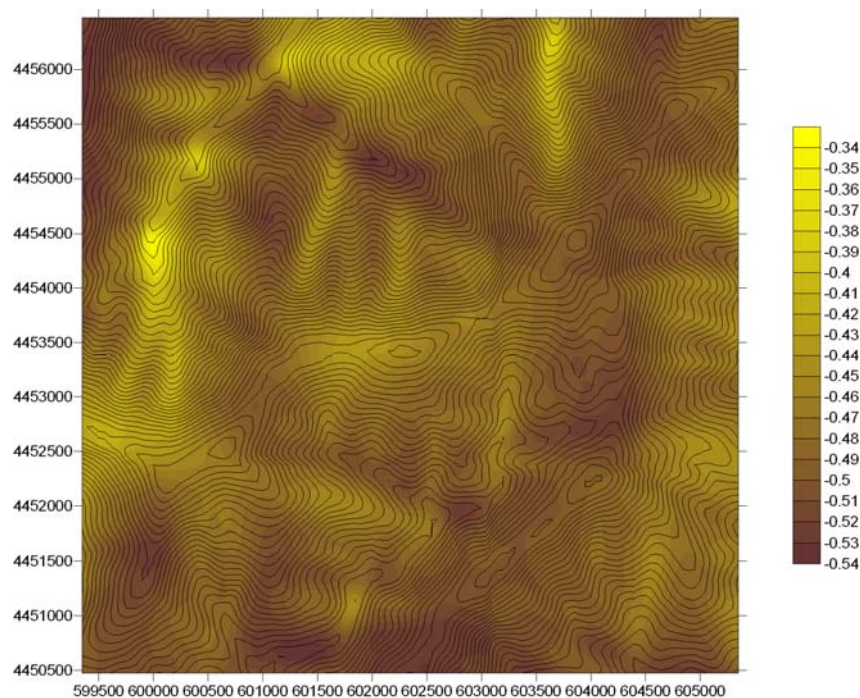


Figura 63: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – (Reanálise sigma 0,995 – PORT027)/PORT027

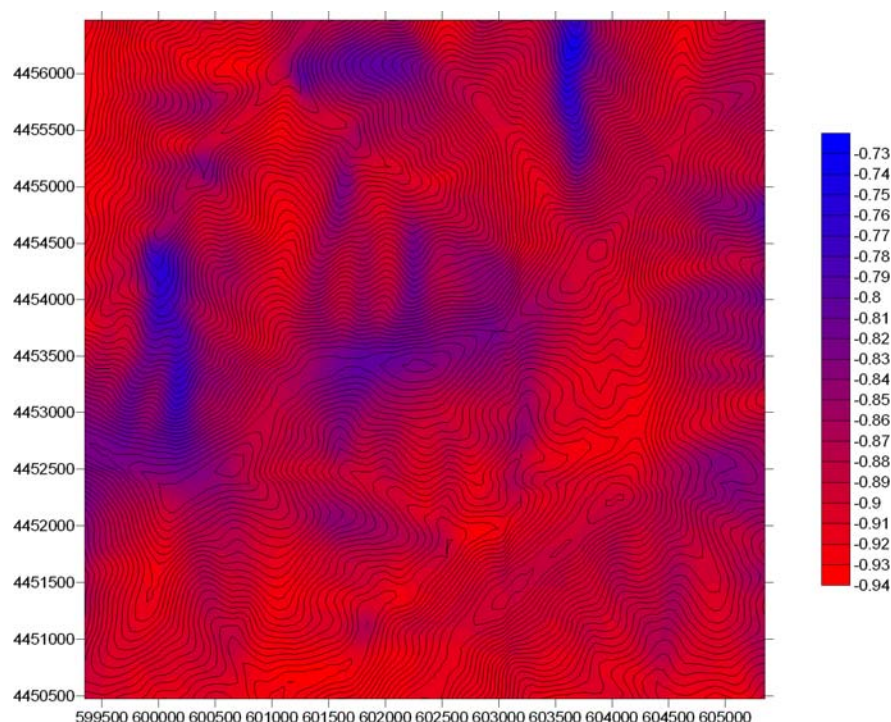


Figura 64: Discrepância entre a densidade de Potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo no Açor – (*Reanálise sigma 0,995 – PORT027*)/*PORT027*

Como aconteceu com os resultados obtidos pelas alturas do geopotencial, estas discrepâncias são bastante significativas, chegando a obter-se valores com discrepâncias acima dos 90% (Figura 64).

Tabela 7: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados do nível sigma 0,995

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	2,94	1,10	4,97
Densidade de Potência [W/m^2]	39	2	170
Elevação [m]	945,9	477,0 m	1320,0

Tal como o caso anterior, estes resultados são bastante insatisfatórios, sendo o valor máximo verificado, inferior ao valor médio que se obtém com os resultados obtidos pelos dados observados localmente.

7.7. Cálculo da potência eólica para o ponto de S. Pedro de Portel

7.7.1. A partir do ponto de pressão

Tal como foi feito para cada uma das alturas do geopotencial no caso do Açor, é feito em seguida para o caso de S. Pedro de Portel. São apresentadas em seguida as rosas-dos-ventos e as distribuições de *Weibull* verificadas para cada uma das alturas do geopotencial:

➤ 925 hPa

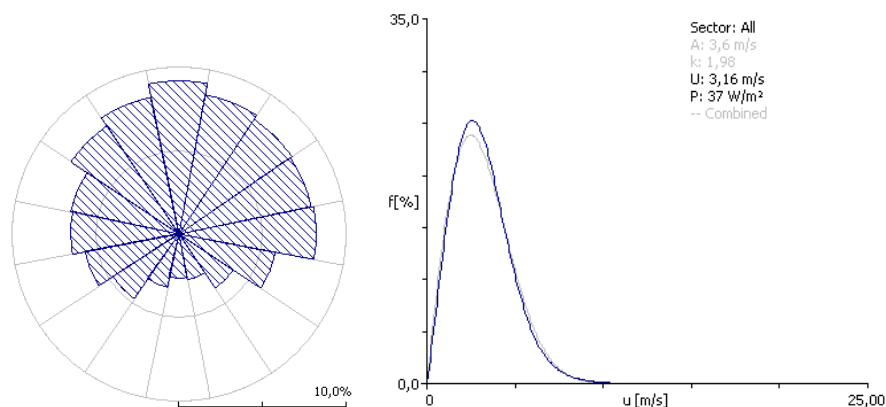


Figura 65: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 925 hPa

➤ 850 hPa

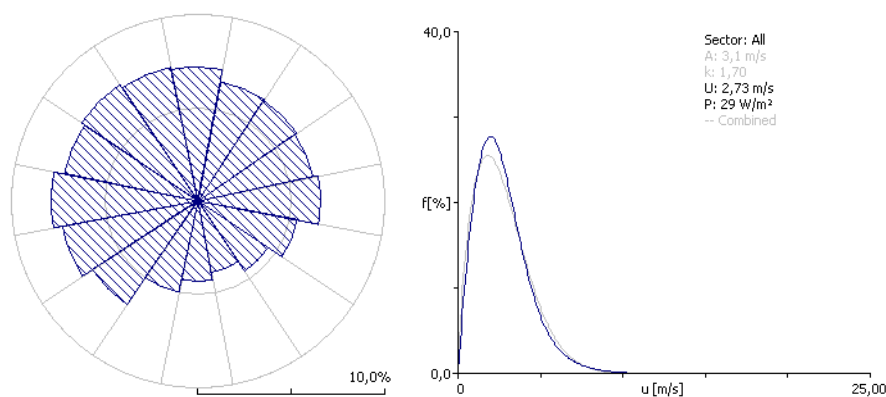


Figura 66: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 850 hPa

➤ 700 hPa

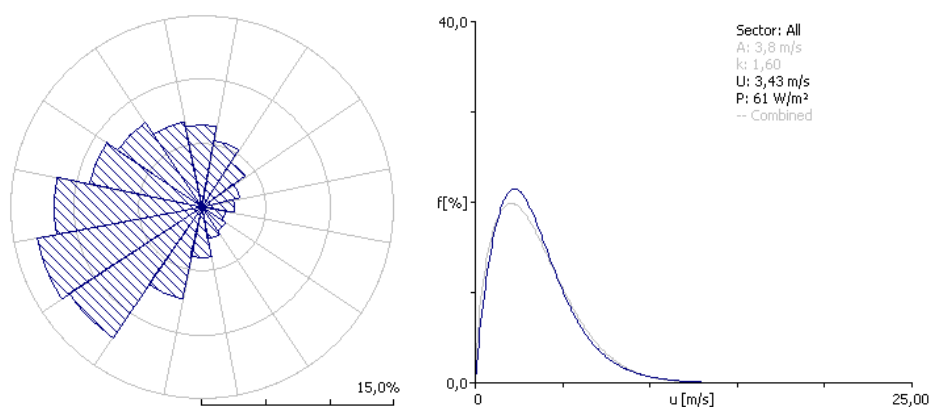


Figura 67: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 700 hPa

➤ 600 hPa

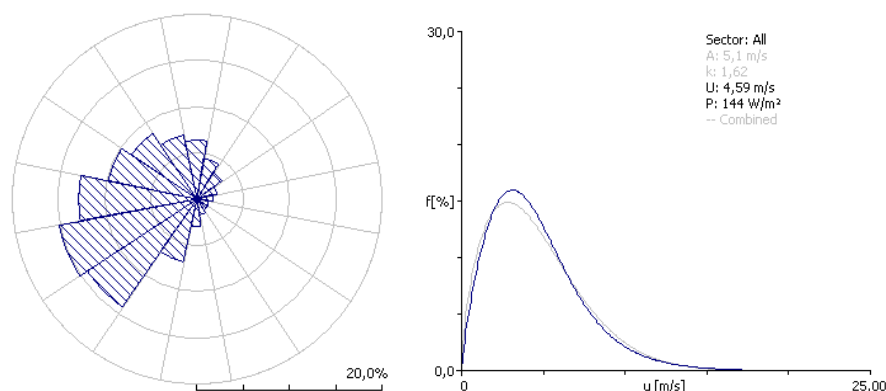


Figura 68: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de pressão de 600 hPa

Comparando estas figuras com a rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* obtidas a partir dos dados de vento locais (Figura 42), verificam-se que são completamente diferentes: as rosas-dos-ventos previstas são iguais às observadas e as distribuições de *Weibull* indicam valores de velocidade e de potência bastante inferiores.

Em seguida são mostradas as rosas de potência assim como as distribuições de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista, para cada um dos diferentes níveis de pressão.

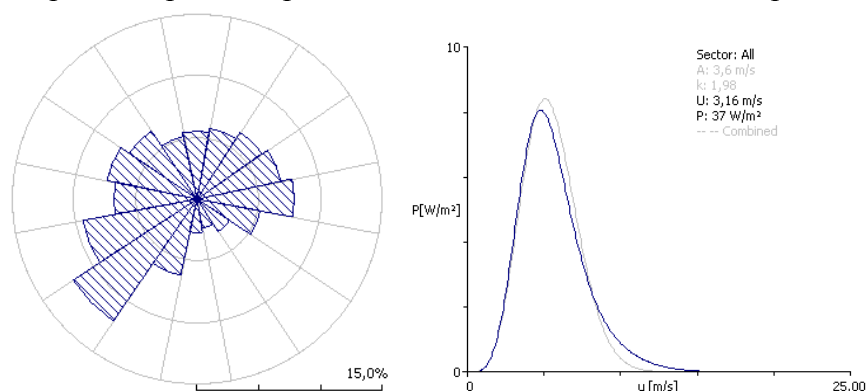


Figura 69: Rosa de Potência e distribuição de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 925 hPa

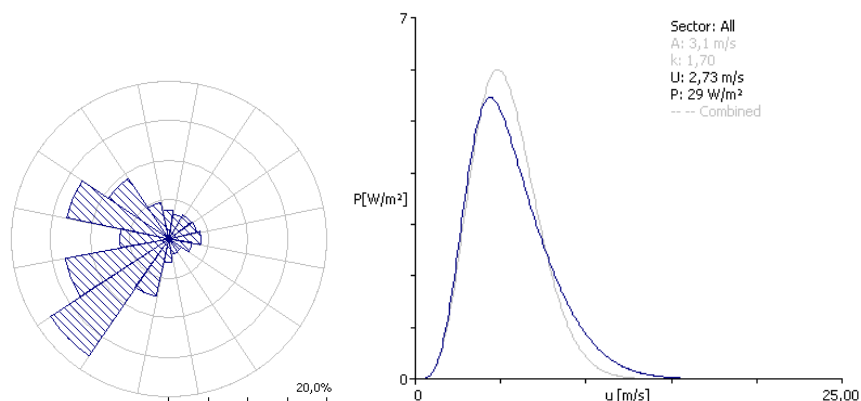


Figura 70: Rosa de Potência e distribuição de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 850 hPa

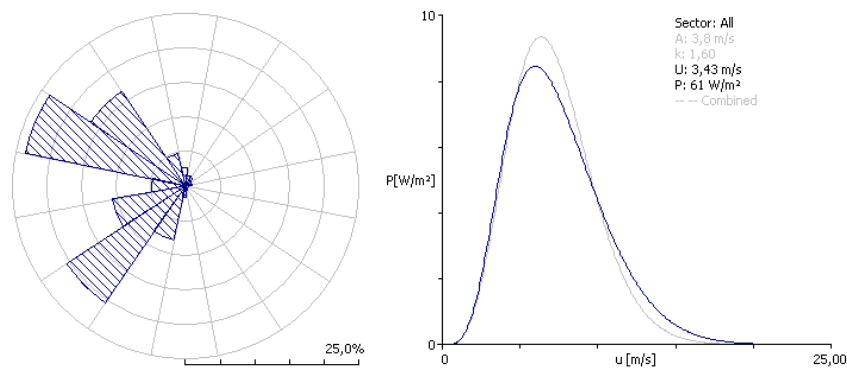


Figura 71: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 700 hPa

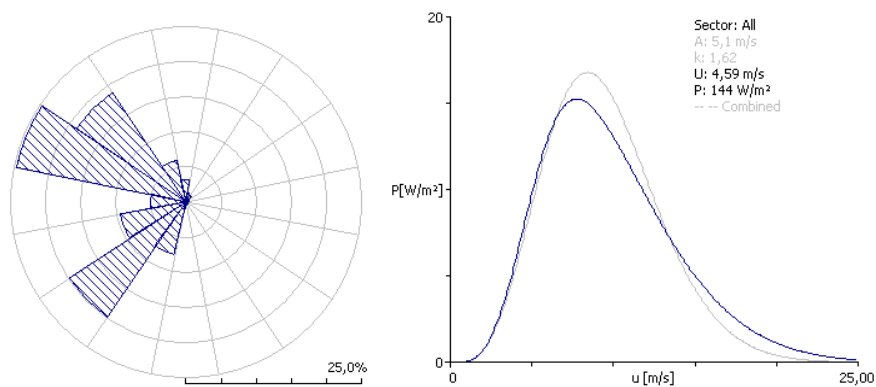


Figura 72: Rosa de Potência e distribuição de Weibull da disponibilidade da potência prevista para o ponto de S. Pedro de Portel obtida a partir dos dados de 600 hPa

Verifica-se que à medida que se vai subindo na atmosfera para a obtenção de dados, as rosas de potência estão a convergir para a forma que se obtém na Figura 72, que é bastante diferente daquela que foi obtida a partir dos dados verificados localmente (Figura 41).

Em seguida, estão representadas figuras que mostram a discrepância obtida entre os valores previstos pelas séries de reanálise e os valores obtidos a partir dos dados locais, para a velocidade média e para a densidade de potência, apresentando-se em anexo (Anexo K) as previsões obtidas em 50x50 m² da grelha de 36 km² para estes dois valores.

- Discrepâncias obtidas da velocidade média para cada um dos níveis de pressão:

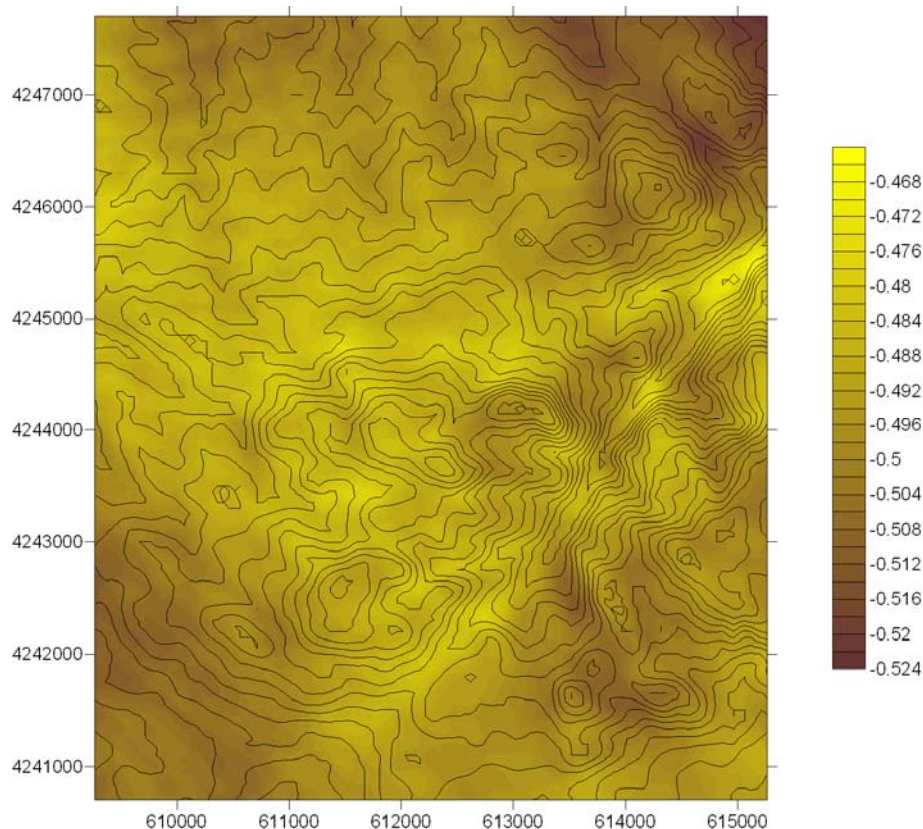


Figura 73: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise } 925\text{hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

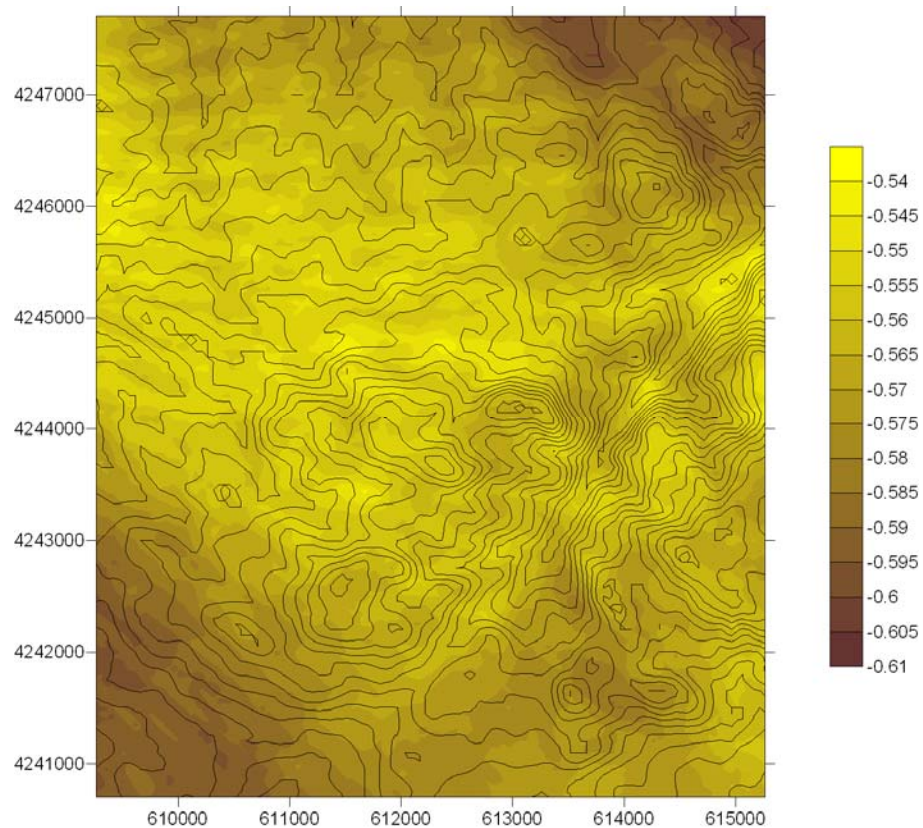


Figura 74: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise } 850\text{hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

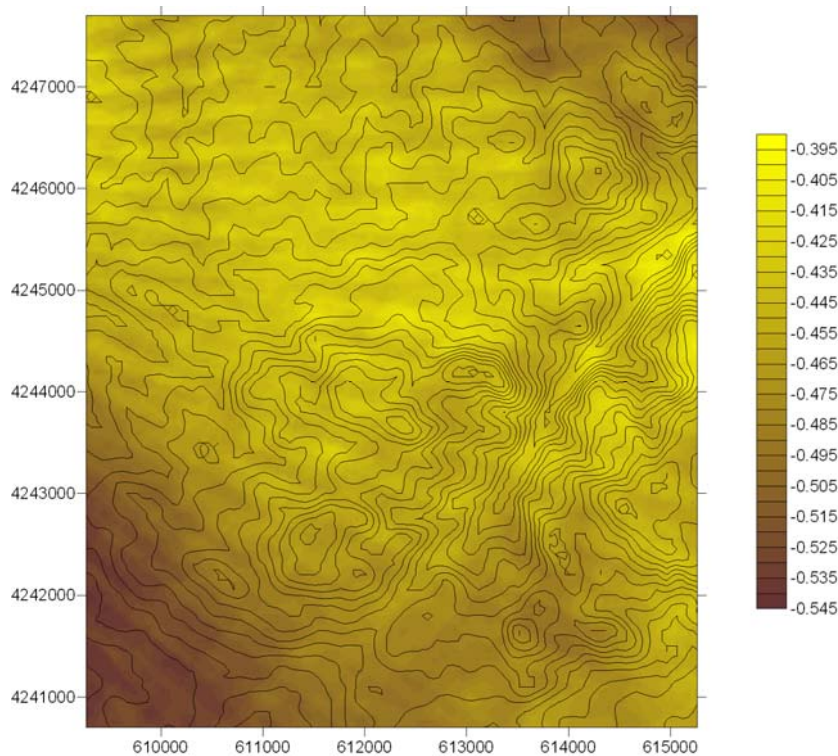


Figura 75: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise 700 hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

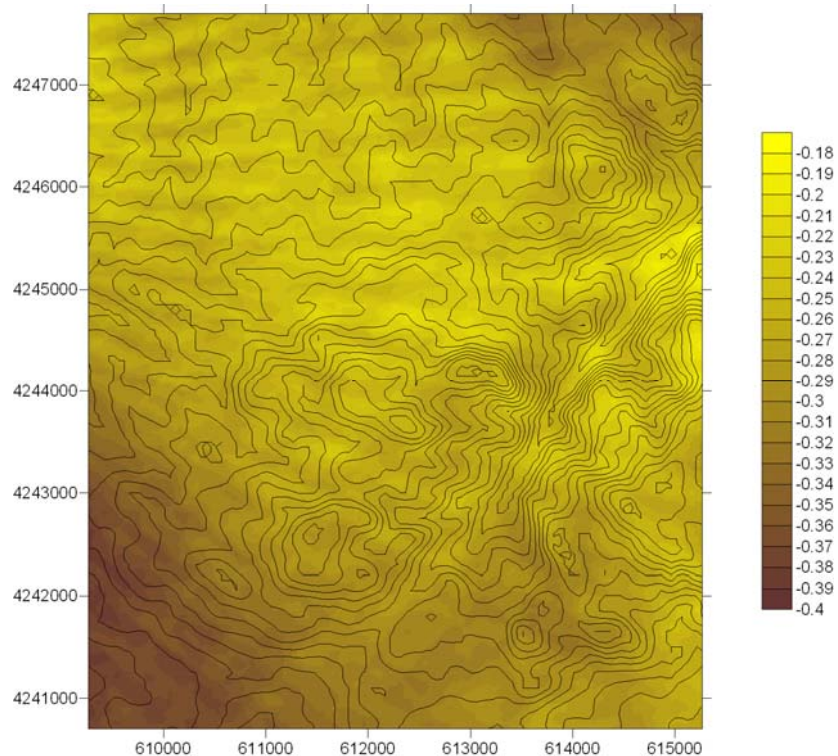


Figura 76: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise 600 hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

Como se pode verificar, as discrepâncias continuam a ser muito grandes. Tal como no caso do Açor, os valores obtidos são inferiores aos valores calculados a partir dos dados de vento locais.

- Discrepâncias obtidas da densidade de potência para cada um dos níveis de pressão:

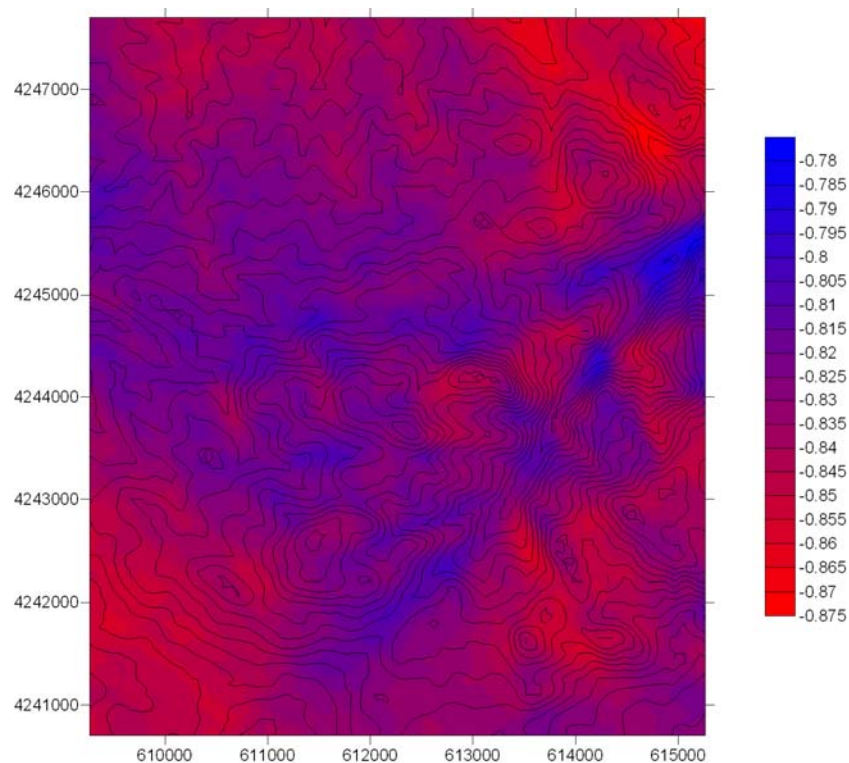


Figura 77: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 925 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise } 925\text{hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

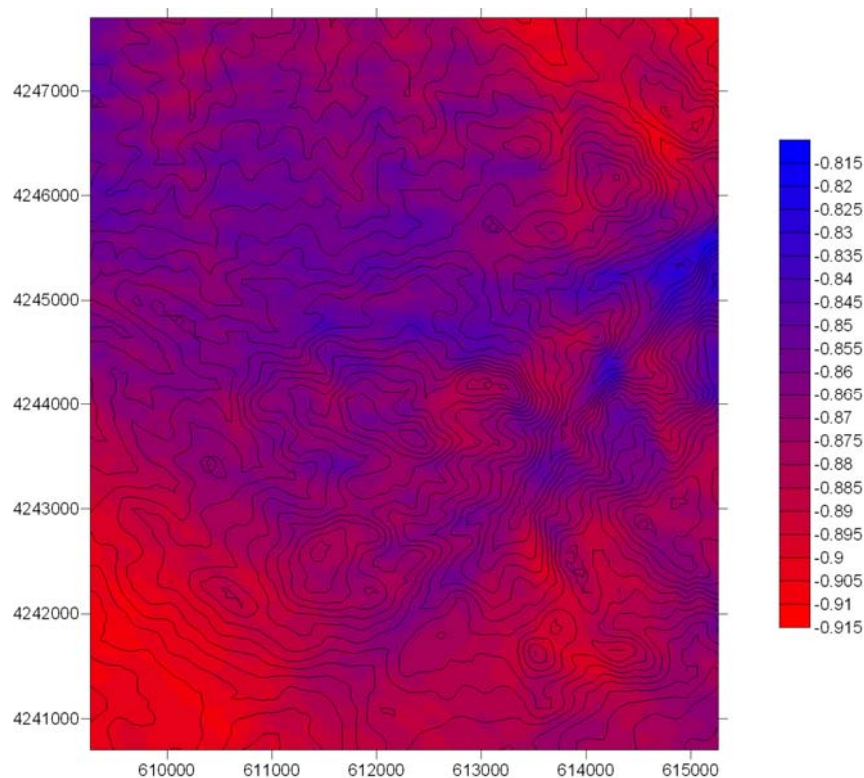


Figura 78: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 850 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise } 850\text{ hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

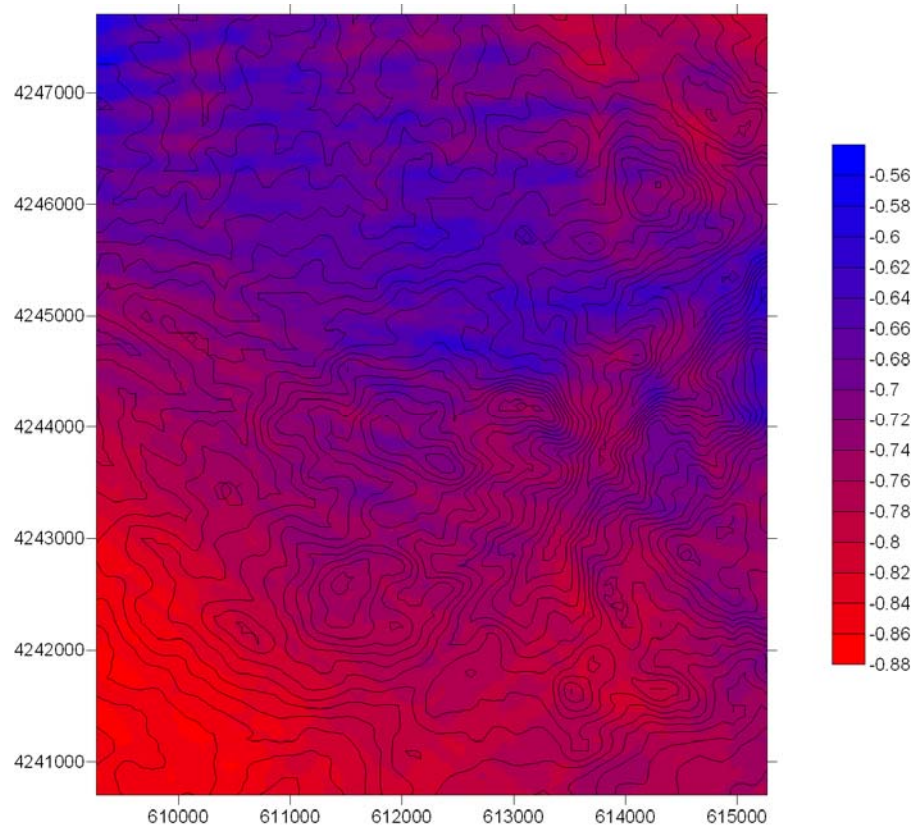


Figura 79: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 700 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise 700 hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

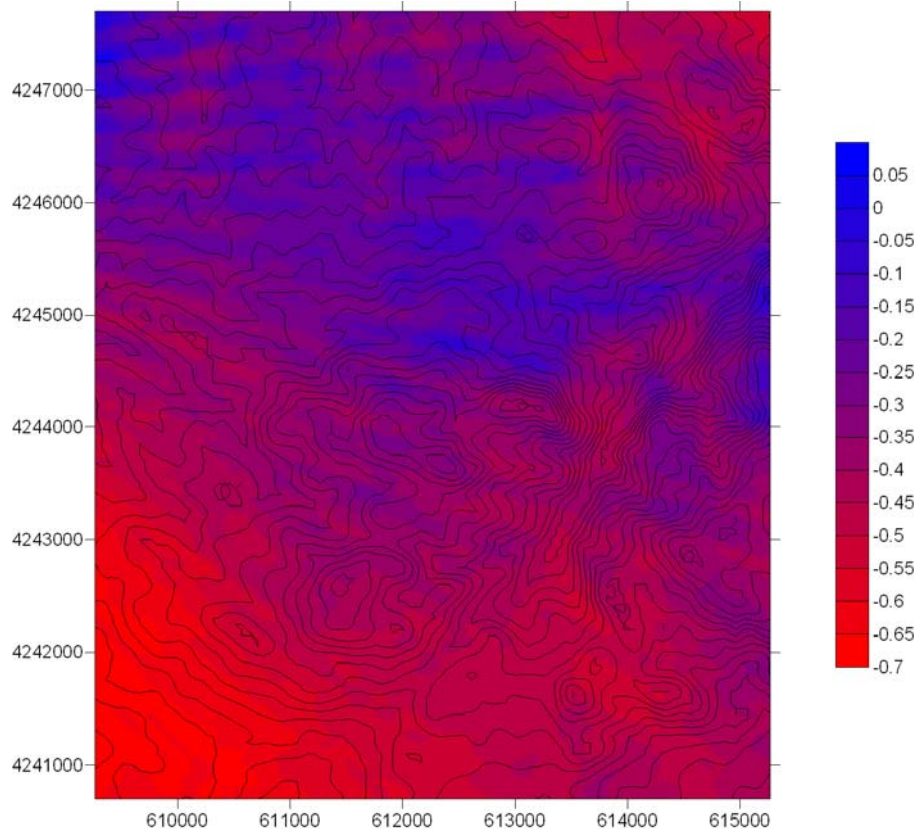


Figura 80: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 600 hPa para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise 600 hPa} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

Observam-se discrepâncias muito grandes (à volta dos 80%) sempre para valores inferiores aos resultados obtidos pelos dados locais. Para os 600 hPa, observa-se que os valores são muito inconstantes, desde obtendo-se resultados muito próximos do esperado até discrepâncias da ordem dos 70%.

➤ Resultados obtidos

Tabela 8: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 925 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	2,68	2,04	3,30
Densidade de Potência [W/m ²]	23	11	42
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Tabela 9: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 850 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	2,29	1,76	2,85
Densidade de Potência [W/m ²]	17	9	33
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Tabela 10: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 700 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	2,85	2,23	3,60
Densidade de Potência [W/m ²]	37	17	74
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Tabela 11: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 600 hPa

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	3,84	2,99	4,84
Densidade de Potência [W/m ²]	86	38	173
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Comparando estes resultados com os da Tabela 2, verifica-se que os valores se encontram muito aquém dos valores esperados, tal como tem acontecido com o resto dos resultados e no

caso do ponto do Açor. O melhor resultado obtém-se com os resultados obtidos para os 600 hPa de altura do geopotencial, mas ficam muito longe dos resultados pretendidos.

7.7.2. A partir do ponto do nível sigma 0,995

As rosas-dos-ventos, de potência e distribuições de *Weibull* para o ponto do nível sigma 0,995 foram as seguintes:

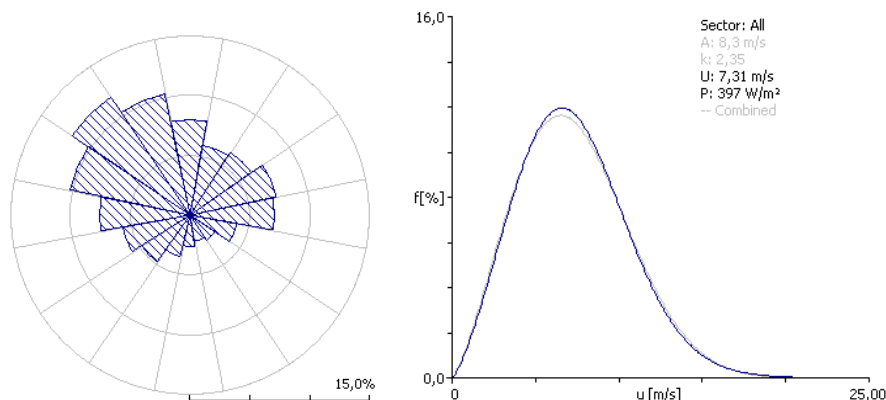


Figura 81: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de nível sigma 0,995

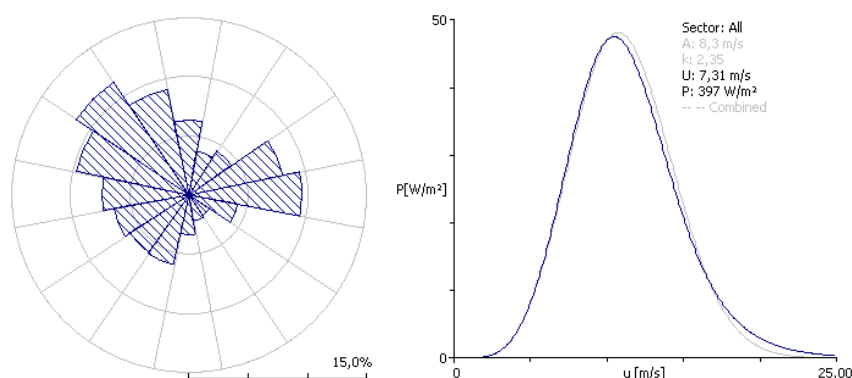


Figura 82: Rosa de Potência e distribuição de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do ponto de nível sigma 0,995

Comparando os resultados obtidos com os que advieram a partir dos dados locais (Figura 41 e Figura 42) verifica-se que, tal como tinha acontecido com os resultados obtidos pelos dados de pressão do geopotencial, a rosa-dos-ventos está praticamente igual aos dados do vento retirados das séries de reanálise. Ao contrário do que aconteceu com os resultados da altura do geopotencial, os valores da potência e da velocidade média são superiores aos obtidos a partir dos dados observados localmente. A rosa de potência tal como aconteceu com rosa-dos-ventos, está completamente diferente do que era de esperar, tal como tem acontecido com o resto dos pontos para este local.

As previsões obtidas em cada 50x50 m² da grelha em torno do ponto de previsão encontram-se no Anexo L, apresentando-se em baixo, tal como no caso anterior, duas figuras com as discrepâncias verificadas entre a velocidade média e a densidade de potência, assim como os resultados verificados nesta grelha.

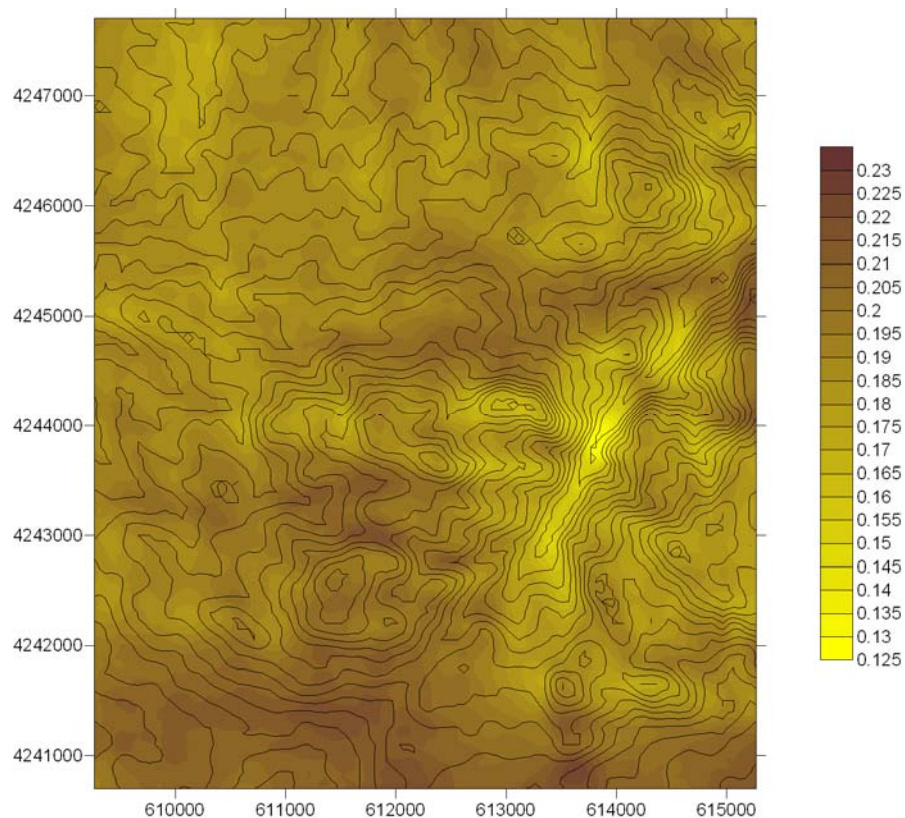


Figura 83: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise sigma } 0,995 - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

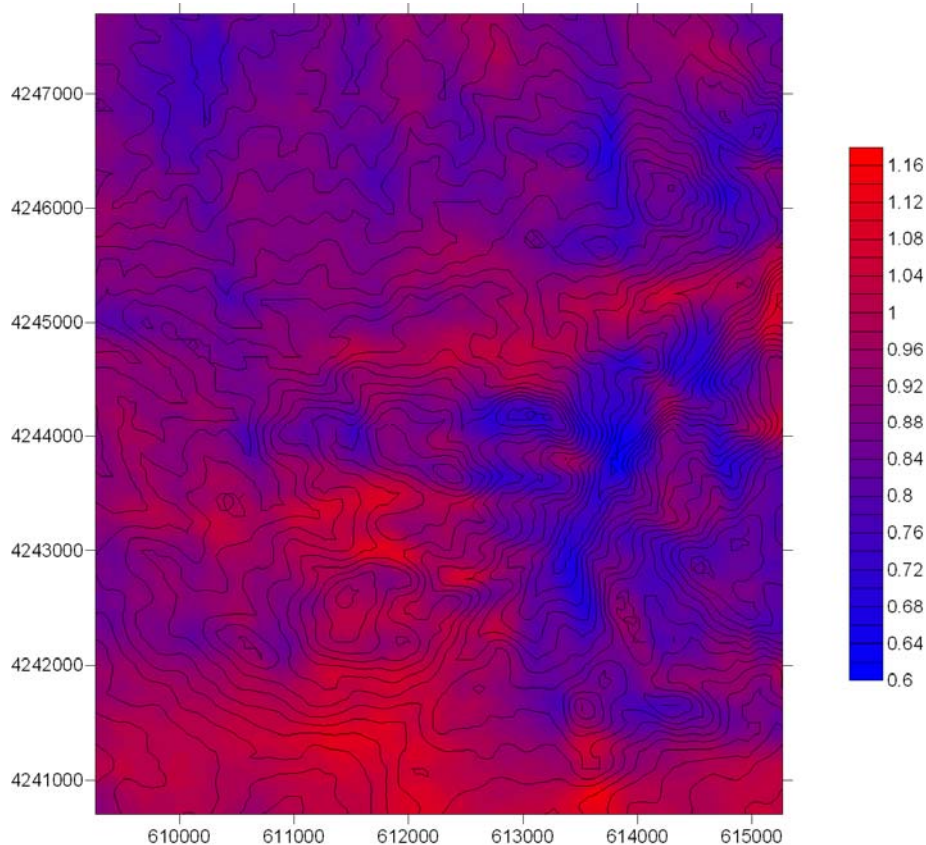


Figura 84: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados do nível sigma 0,995 para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – $(\text{Reanálise sigma } 0,995 - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

Tal como no caso da altura do geopotencial, estas discrepâncias são bastante significativas no caso da densidade de potência, chegando a obter-se valores acima dos 115%. Enquanto no caso da velocidade média, os resultados não têm uma discrepância tão elevada, mas mantêm-se acima dos 12%, no melhor caso. Em contrapartida àquilo que aconteceu com os resultados obtidos a partir dos dados da altura do geopotencial, estes resultados estão todos acima dos resultados esperados.

Tabela 12: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados do nível sigma 0,995

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	6,32	4,61	7,79
Densidade de Potência [W/m ²]	263	110	482
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Tal como no caso anterior, estes resultados não estão de acordo com a realidade, mas, ao contrário do que tem vindo a acontecer, encontram-se acima dos valores esperados, sendo até o seu valor médio, superior ao valor máximo verificado com os resultados obtidos pelos dados observados localmente.

7.7.3. A partir do Ponto de 10 metros

As rosas-dos-ventos, de potência e distribuições de *Weibull* para o ponto de 10 metros foram as seguintes:

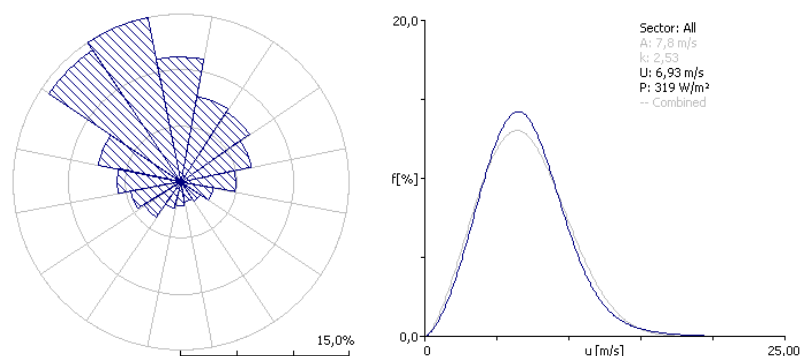


Figura 85: Rosa-dos-ventos e distribuição de *Weibull* calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros

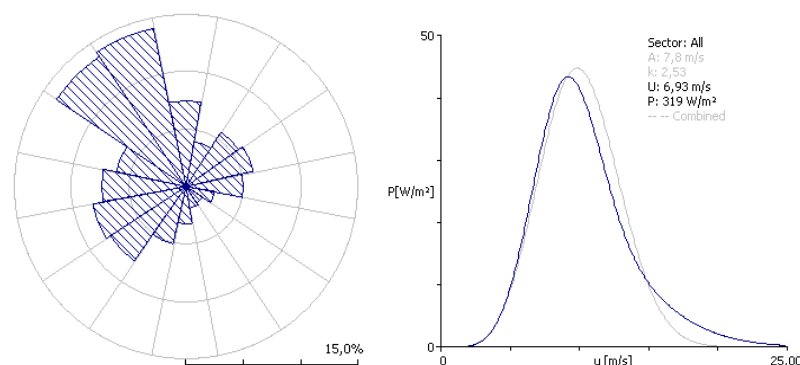


Figura 86: Rosa de Potência e distribuição de *Weibull* da disponibilidade da potência prevista obtida a partir dos dados do Ponto de 10 metros

Verifica-se que, tal como aconteceu nos casos anteriores para este ponto em estudo, a rosa-dos-ventos não sofreu alterações dos dados observados a partir dos valores de reanálise e os valores da potência e velocidade média obtidos, estão um pouco sobredimensionados em relação aos valores observados localmente.

As previsões obtidas em cada 50x50 m² da grelha em torno do ponto de previsão encontram-se no Anexo M, apresentando-se em baixo, tal como anteriormente, duas figuras com as discrepâncias verificadas entre a velocidade média e a densidade de potência, assim como os resultados verificados nesta grelha.

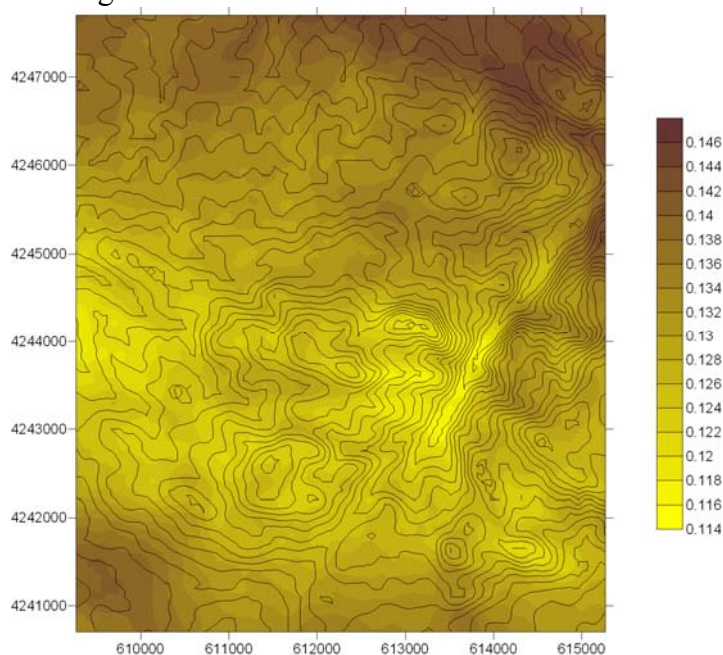


Figura 87: Discrepância entre a velocidade média prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 10 metros para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – (Reanálise 10 metros – PORT284)/PORT284

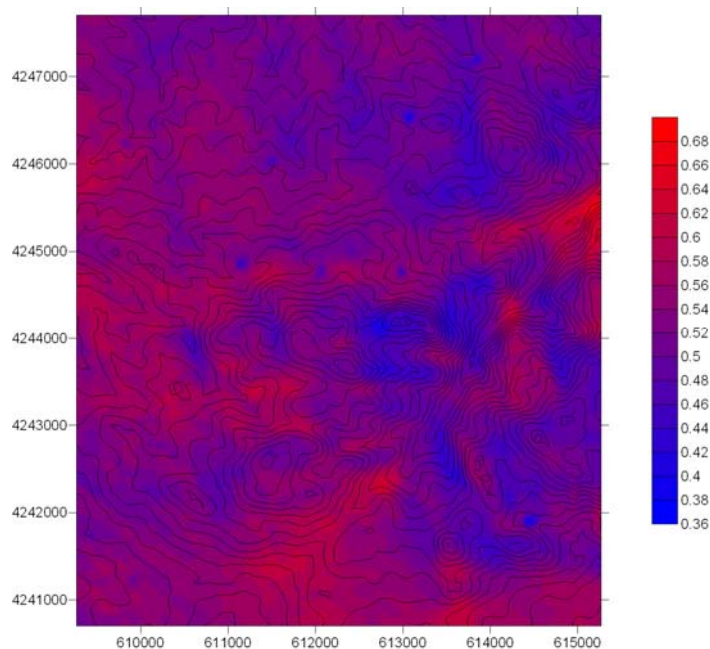


Figura 88: Discrepância entre a densidade de potência prevista a partir dos dados observados localmente e a partir dos dados dos 10 metros para a grelha em torno do ponto em estudo em S. Pedro de Portel – (Reanálise 10 metros – PORT284)/PORT284

Os resultados obtidos para o caso da velocidade média não são muito diferentes dos esperados e são bastante constantes, ao contrário do que acontece com o caso da densidade de potência, em que os resultados obtidos oscilam entre os 35% e os 70% de discrepância.

Tabela 13: Resultados verificados na grelha em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados dos 10 metros acima do nível do solo

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade Média [m/s]	6,00	4,53	7,38
Densidade de Potência [W/m ²]	211	97	388
Elevação [m]	291,7	208,2	400,0

Tal como tem acontecido até agora, estes resultados não estão de acordo com a realidade e encontram-se acima dos valores esperados. Mas ao contrário do que aconteceu com os dados de reanálise anteriores, estes dados são de classe **B**, ou seja, é preciso ter alguns cuidados ao fazer cálculos com estes dados de reanálise.

7.8. Dados de reanálise como a mesma série temporal dos dados locais

Fazendo os cálculos anteriores, mas com os dados de reanálise para a mesma série temporal dos dados de vento locais, não se verificam melhorias aos resultados obtidos; por esse facto, e para não tornar este trabalho ainda mais extenso, esses resultados não foram aqui incluídos, pois não trazem mais-valias a este estudo.

7.9. Previsões cruzadas

Depois destes resultados obtidos, foi feita uma experiência para serem analisados os seus resultados e para verificar se a simulação do programa WAsP traz consigo erros aos resultados simulados. Para tal, foram feitas duas previsões cruzadas: uma entre os dados obtidos na estação de medição PORT284 e a estação de medição PORT233, e outra entre os dados do PORT284 e a estação de medição PORT192 (Figura 89). Para o primeiro caso, a distância entre estas duas estações é de sensivelmente 30 km e para o segundo caso é de 88 km. Estas previsões são calculadas para o mesmo período temporal, ou seja, cada uma das estações de medição usada para cada uma das previsões cruzadas, tem que possuir dados de vento para períodos simultâneos.

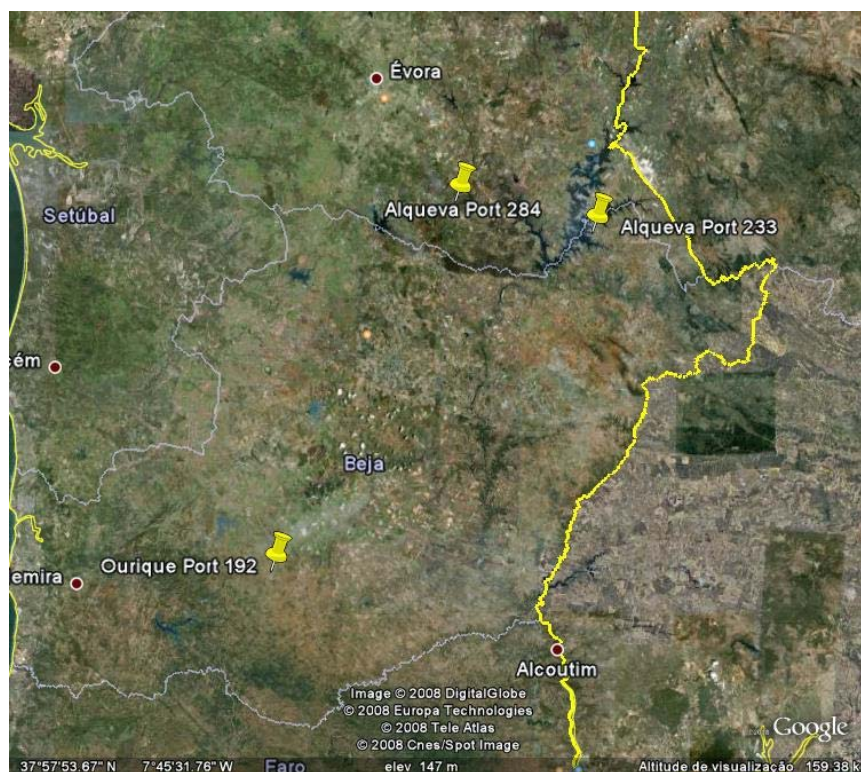


Figura 89: Localização das estações de medição em estudo

7.9.1. Previsão cruzada entre as estações de medição PORT284 e PORT233

Em seguida, são ser apresentadas as rosas-dos-ventos e rosas de potência dos dois locais, seguindo-se das previsões cruzadas de cada uma delas.

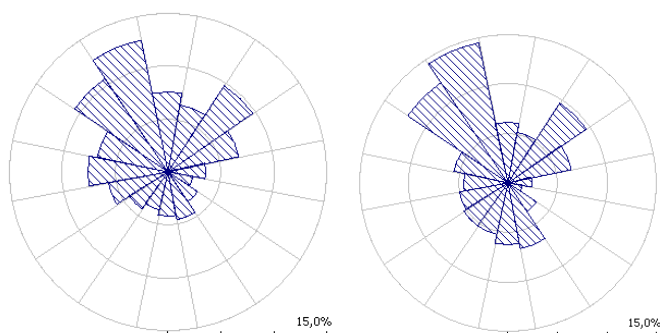


Figura 90: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT233

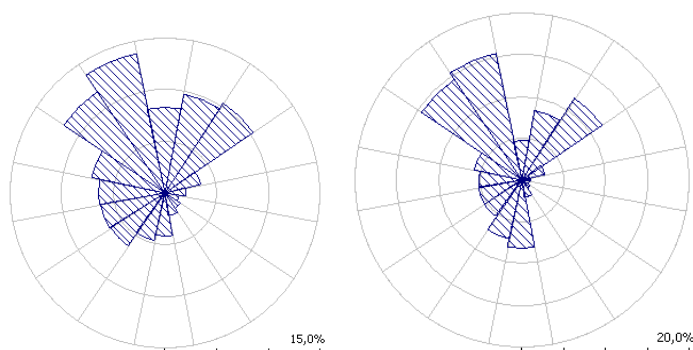


Figura 91: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT233 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT284

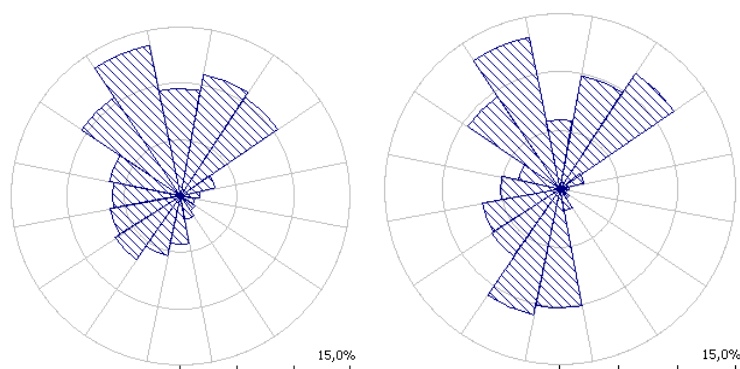


Figura 92: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento obtidos no PORT233

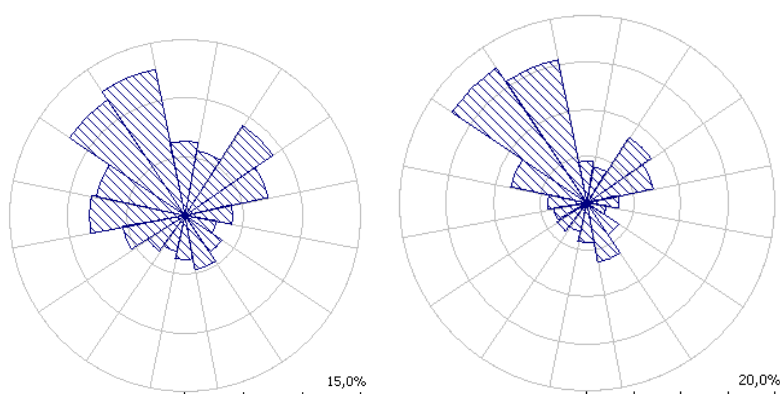


Figura 93: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT233 a partir de dados de vento obtidos no PORT284

Pela comparação entre estas figuras, verifica-se que os resultados também se encontram um pouco distantes daquilo que era esperado. As rosas-dos-ventos conseguem ser razoavelmente bem previstas, quanto à sua forma, com exceção de um ou outro sector e as rosas de potência, embora não tão bem como as rosas-dos-ventos, conseguem ter também, uma razoável previsão quanto à sua forma.

São apresentados na Tabela 14, os resultados da velocidade média e densidade de potência obtidos a partir dos dados locais e a partir de previsão cruzada, em torno de cada estação de medição. Pela observação constata-se que os resultados obtidos apresentam bastantes discrepâncias.

Tabela 14: Resultados médios obtidos para a grelha de 36 km² em torno de cada estação de medição (PORT284 e PORT233)

		Medido	Previsto com PORT284	Previsto com PORT233
PORT284	Velocidade média [m/s]	5,30	-----	4,05
	Densidade de potência [W/m ²]	137	-----	90
PORT233	Velocidade média [m/s]	4,57	6,03	-----
	Densidade de potência [W/m ²]	122	194	-----

No Anexo N estão representadas as previsões obtidas em cada uma das grelhas: tanto as obtidas a partir dos dados observados localmente, como para as previsões cruzadas. As Figura 94 e 95 representam a discrepância entre os resultados obtidos por previsão cruzada e aqueles que foram obtidos a partir de dados de vento locais.

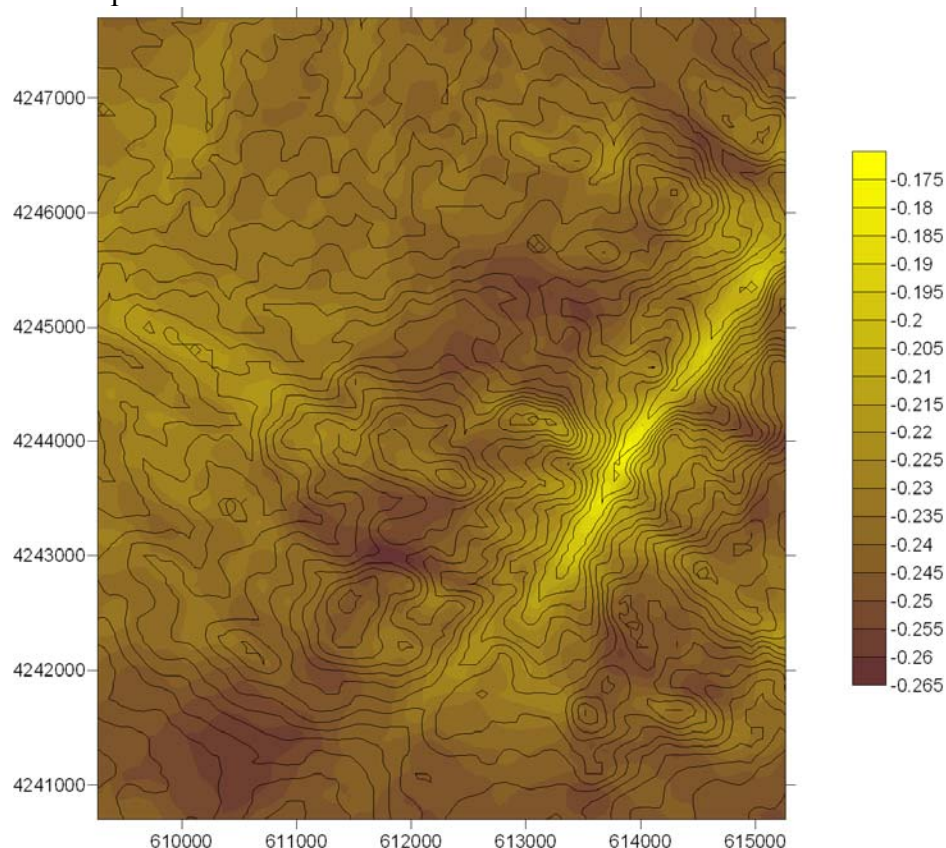


Figura 94: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT233 – $(\text{Dados PORT233} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

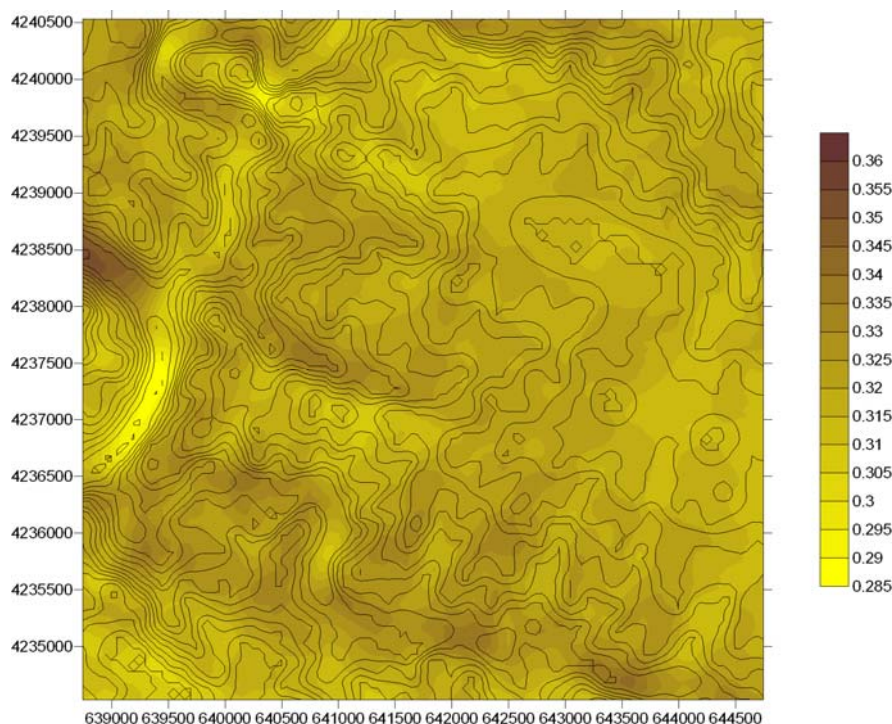


Figura 95: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284 – $(\text{Dados PORT284} - \text{PORT233})/\text{PORT233}$

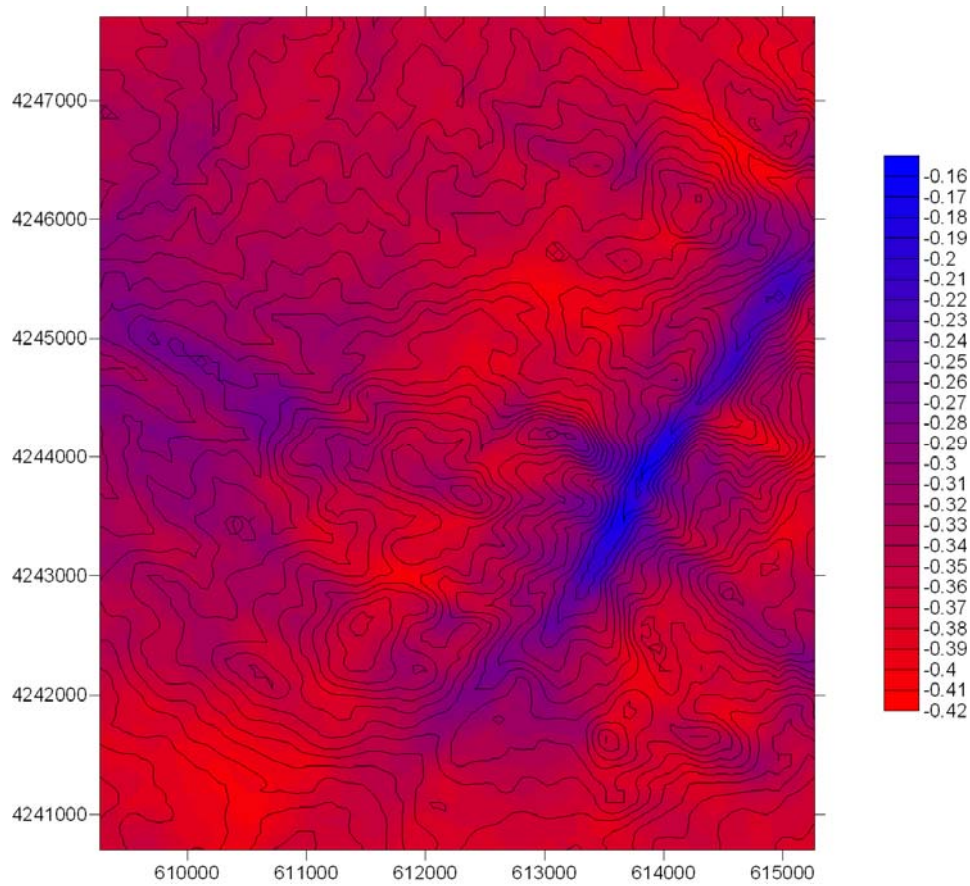


Figura 96: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT233 – $(\text{Dados PORT233} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

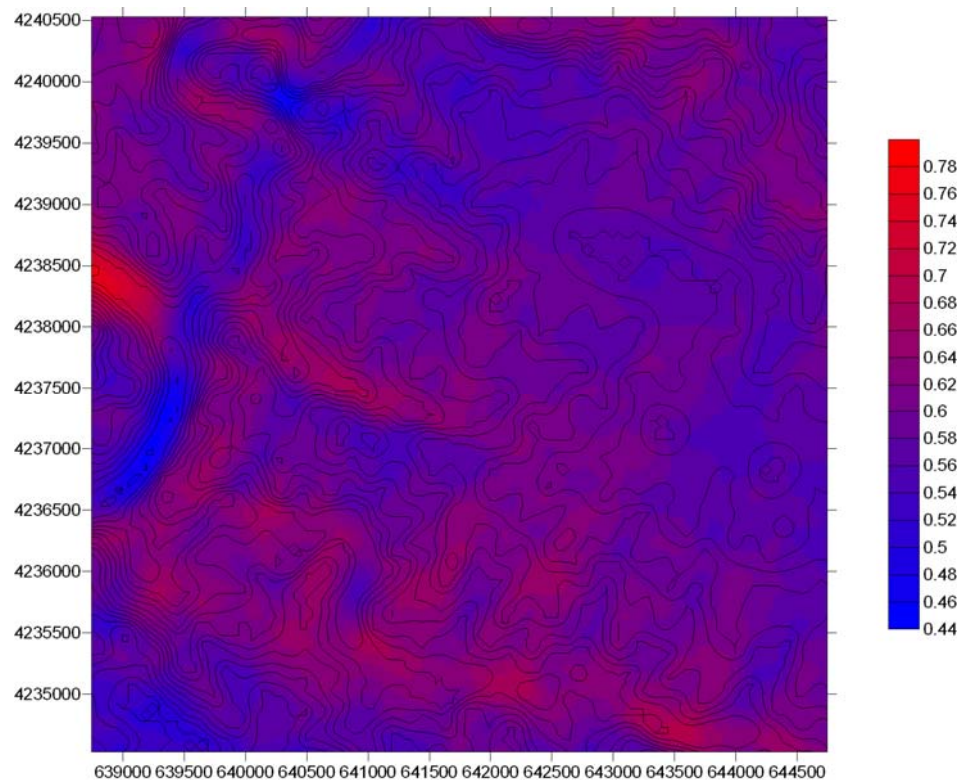


Figura 97: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284 – $(\text{Dados PORT284} - \text{PORT233})/\text{PORT233}$

No caso das previsões da velocidade estas conseguem ser bem “estáveis”, pois o erro da sua previsão não praticamente não oscila: num caso 10% (Figura 94), no outro 8% (Figura 95). Nas previsões da densidade de potência, os erros já são bastante significativos e sua oscilação também é superior, na ordem dos 30%.

7.9.2. Previsão cruzada entre as estações de medição PORT284 e PORT192

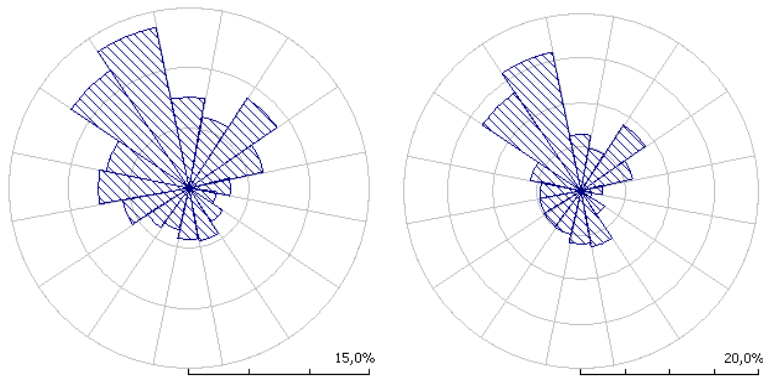


Figura 98: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT192

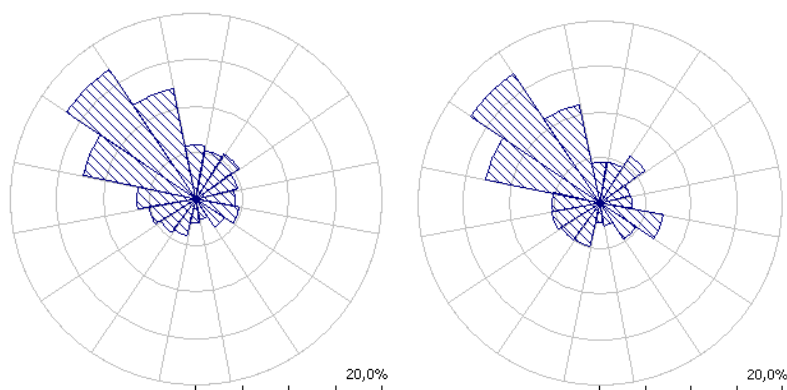


Figura 99: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT192 a partir de dados de vento locais para o período simultâneo com os dados de vento do PORT284

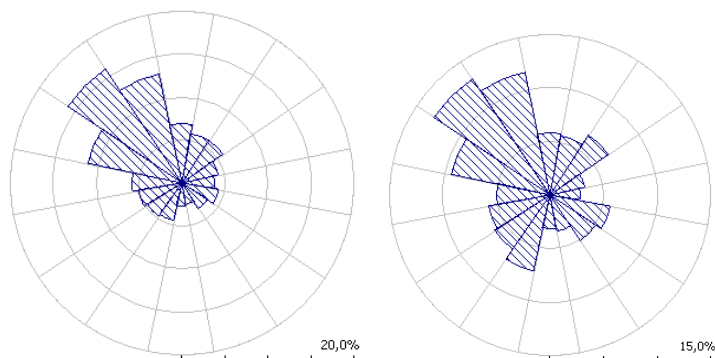


Figura 100: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT284 a partir de dados de vento obtidos no PORT192

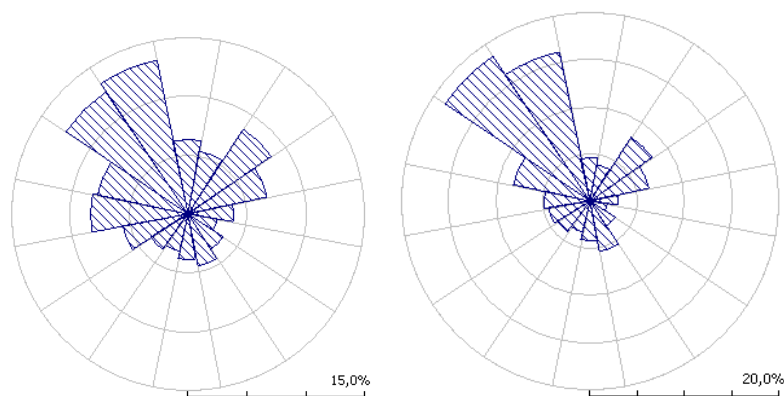


Figura 101: Rosas-dos-ventos e de potência obtidas para o PORT192 a partir de dados de vento obtidos no PORT284

Neste caso, a distância entre as duas estações de medição é consideravelmente maior, contudo os resultados são semelhantes ao caso anterior: as rosas conseguem ser razoavelmente bem previstas quanto à sua forma.

Tal como no caso anterior de previsão cruzada, são apresentados na Tabela 15, os resultados da velocidade média e densidade de potência obtidos a partir dos dados locais e a partir de previsão cruzada, em torno de cada estação de medição.

Verifica-se que, em semelhança com o que aconteceu anteriormente, os resultados não são muito satisfatórios, os resultados previstos para o PORT284 através de previsão cruzada encontram-se subestimados, enquanto no outro caso, estes encontram-se sobrestimados.

Tabela 15: Resultados médios obtidos para a grelha de 36 km² em torno de cada estação de medição (PORT284 e PORT192)

		Medido	Previsto com PORT284	Previsto com PORT192
PORT284	Velocidade média [m/s]	5,28	-----	4,55
	Densidade de potência [W/m ²]	135	-----	98
PORT192	Velocidade média [m/s]	5,38	6,26	-----
	Densidade de potência [W/m ²]	154	246,9	-----

Tal como no caso anterior, no Anexo O apresentam-se as previsões obtidas para cada uma das grelhas, enquanto de seguida estão representadas figuras, que mostram a discrepância entre os resultados obtidos localmente e os obtidos por previsão cruzada.

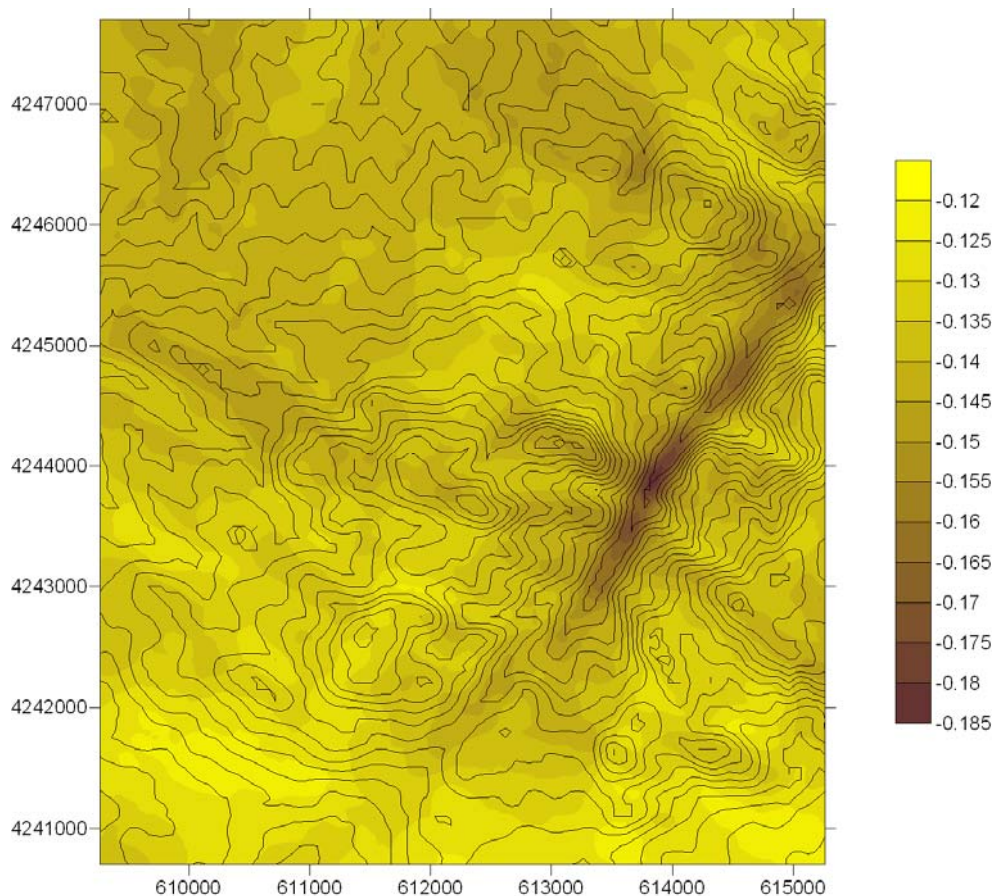


Figura 102: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT192 – $(\text{Dados PORT192} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

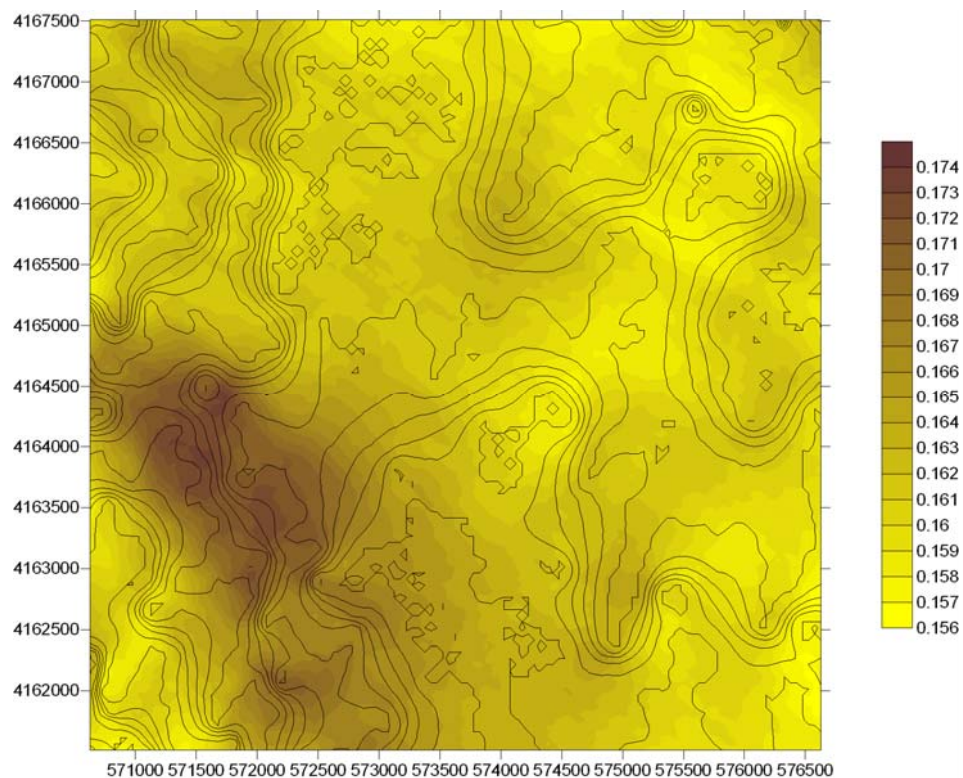


Figura 103: Discrepância entre a velocidade média prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284 – $(\text{Dados PORT284} - \text{PORT192})/\text{PORT192}$

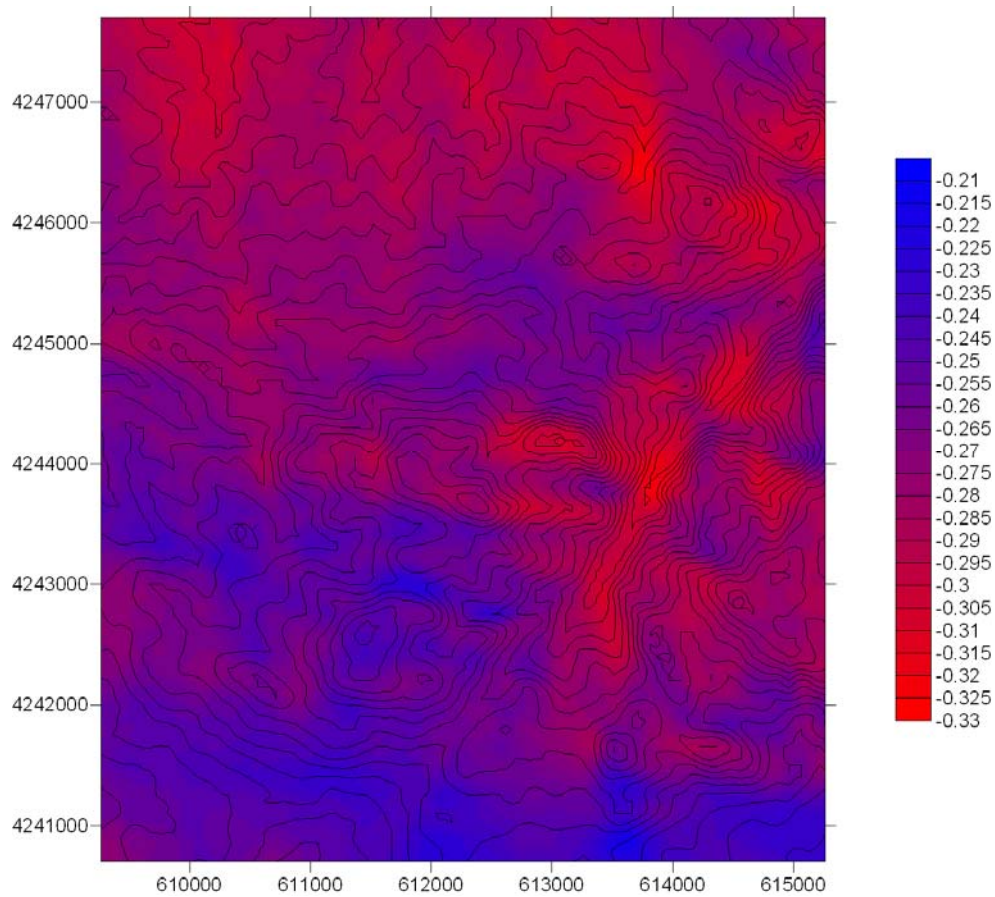


Figura 104: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados observados na estação de medição PORT192 – $(\text{Dados PORT192} - \text{PORT284})/\text{PORT284}$

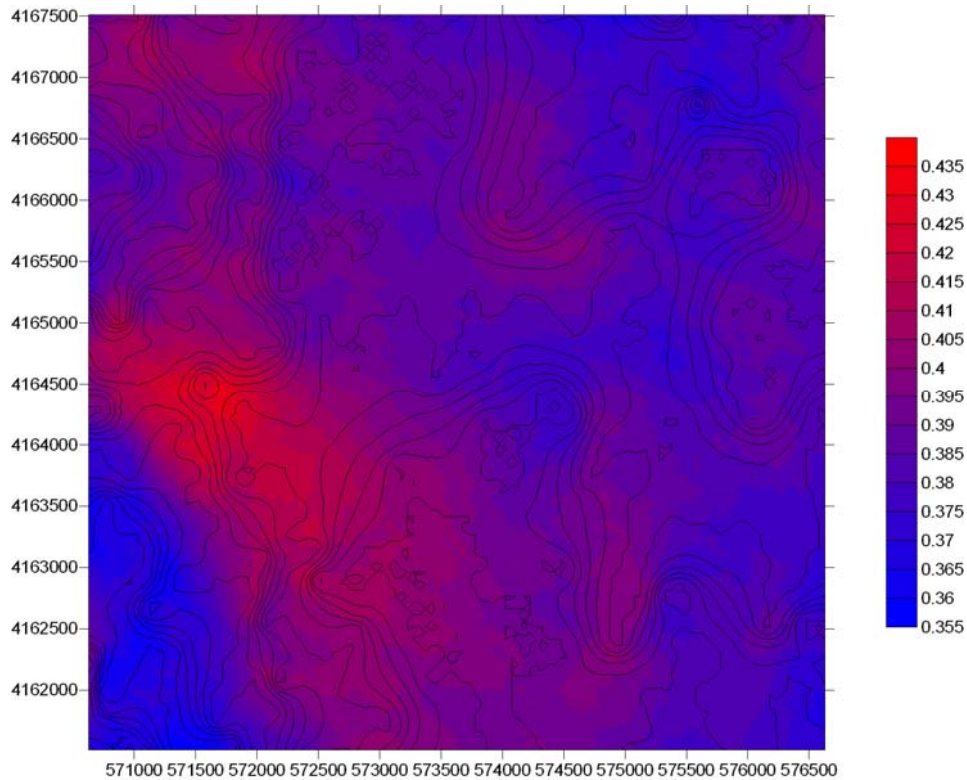


Figura 105: Discrepância entre a densidade de potência prevista para a grelha em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados observados na estação de medição PORT284 – $(\text{Dados PORT284} - \text{PORT192})/\text{PORT192}$

Verifica-se para este caso, que as diferenças entre as discrepâncias mínima e a máxima são bastante menores no caso da velocidade média, assim como são menores as discrepâncias verificadas entre os valores verificados localmente e os obtidos através da previsão cruzada. Pela comparação entre as previsões cruzadas aqui obtidas com as da Subsecção anterior (Subsecção 7.9.1), verifica-se que os resultados aqui obtidos são ligeiramente melhores que os anteriores, tanto no caso da discrepância da velocidade média como no caso da densidade de potência.

Tal como no caso das séries de reanálise, os resultados aqui obtidos não são satisfatórios. As previsões cruzadas praticamente não sofrem alterações dos valores observados, ou seja, a previsão feita para uma estação é praticamente igual aos dados observados na outra estação que foram usados para o seu cálculo. Quando se falava que as rosas-dos-ventos conseguiam ser bem previstas quanto à sua forma, verificava-se que as rosas obtidas eram praticamente iguais às que eram usadas para fazer a previsão; a sua forma mantinha-se constante. O que acontece é que nesta região de Portugal, o relevo praticamente não interfere na direcção do vento, fazendo com que ele seja praticamente igual, quanto à sua orientação, em quase toda a região analisada.

Face aos resultados aqui obtidos, podem tirar-se duas conclusões: ou existem problemas no programa de simulação ou o problema situa-se na estação de medição. O primeiro caso é bastante improvável, uma vez que este programa já é utilizado há diversos anos e as condições de relevo nesta zona cumprem aquilo que são os requisitos para o seu uso. Se este estudo fosse feito para um local bastante complexo como é o caso do Açor, esperava-se que os resultados não fossem muito precisos, uma vez que o terreno é bastante acidentado; neste caso só resta a segunda conclusão. Esta estação foi colocada, aproveitando uma antena de rádio que já estava instalada no local, existindo mesmo a seu lado (Figura 106) uma pequena capela, numa elevação, que pode influenciar os dados de vento obtidos por esta estação.



Figura 106: Vista da estação de medição PORT284 em S. Pedro de Portel

7.10. Cálculo da potência eólica a partir das séries de reanálise do ECMWF

Face aos maus resultados obtidos a partir das séries de reanálise do NCEP/NCAR, resolveu-se fazer a mesma previsão, mas a partir dos dados de reanálise do ECMWF. Este centro meteorológico europeu elaborou umas séries de reanálise para o período compreendido entre o mês de Setembro de 1957 e o mês de Agosto de 2002. Estas séries apenas cobrem o terreno europeu para uma grelha de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, tal como no caso nas séries de reanálise do NCEP/NCAR (símbolos vermelhos da Figura 9), podendo ir até grelhas de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ que foram as que se usaram para o caso de S. Pedro de Portel. Cada um destes pontos de reanálise possui dados do vento para 10 metros acima do solo e para diversas alturas do geopotencial; em seguida apenas serão apresentados cálculos a partir dos dados de 10 metros e para duas alturas de geopotencial: 925 hPa e 850 hPa. Seguidamente vão ser apresentados os resultados obtidos, para os dois locais em estudo, mas apenas serão indicados neste relatório as rosas-dos-ventos e de potência.

7.10.1. Resultados obtidos para o ponto em estudo no Açor

No caso do Açor, apenas foi utilizado um ponto de reanálise que é coincidente com o ponto de reanálise do NCEP/NCAR. Os resultados obtidos estão apresentados em seguida, a partir dos dados recolhidos a 10 metros e para as duas alturas do geopotencial.

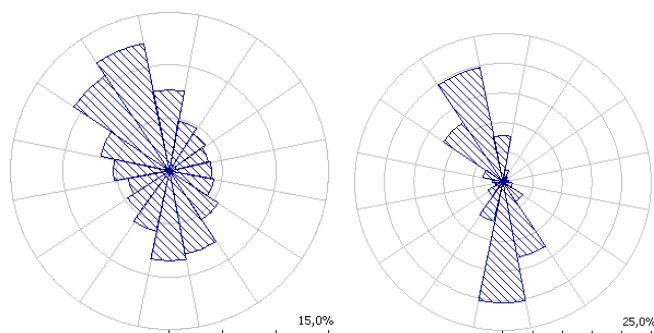


Figura 107: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 10 metros

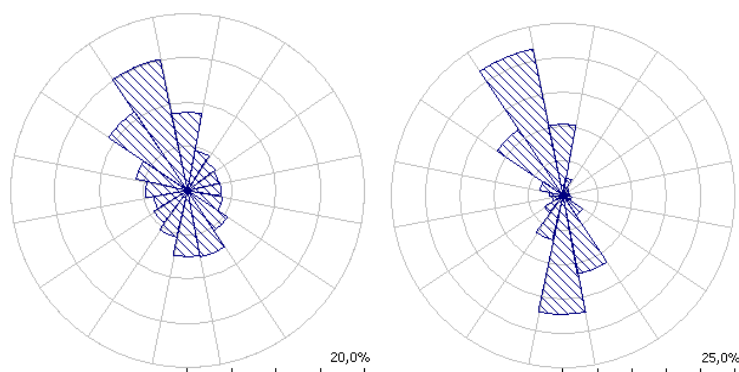


Figura 108: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 925 hPa

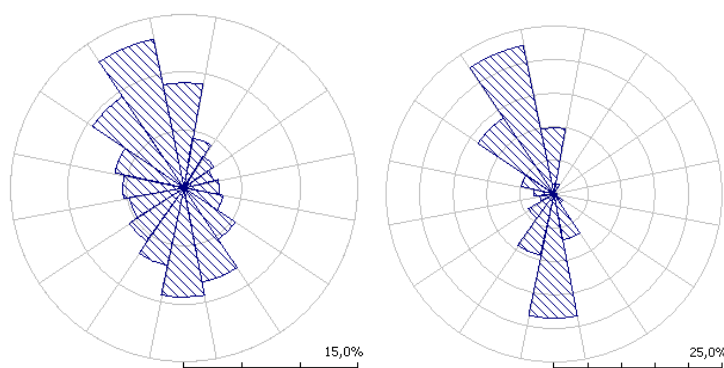


Figura 109: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT027 a partir do ponto de 850 hPa

Verifica-se que os resultados obtidos ficam muito abaixo dos esperados. As rosas-dos-ventos não são tão boas como no caso das séries de reanálise do NCEP/NCAR; verifica-se que estes resultados, quanto à previsão da potência e da velocidade mínima, são muito pobres quando é feita a comparação com os que se obtiveram a partir dos dados de vento locais.

7.10.2. Resultados obtidos para o ponto em estudo em S. Pedro de Portel

Para este ponto de estudo, utilizaram-se quatro pontos de reanálise que são mostrados na figura seguinte:

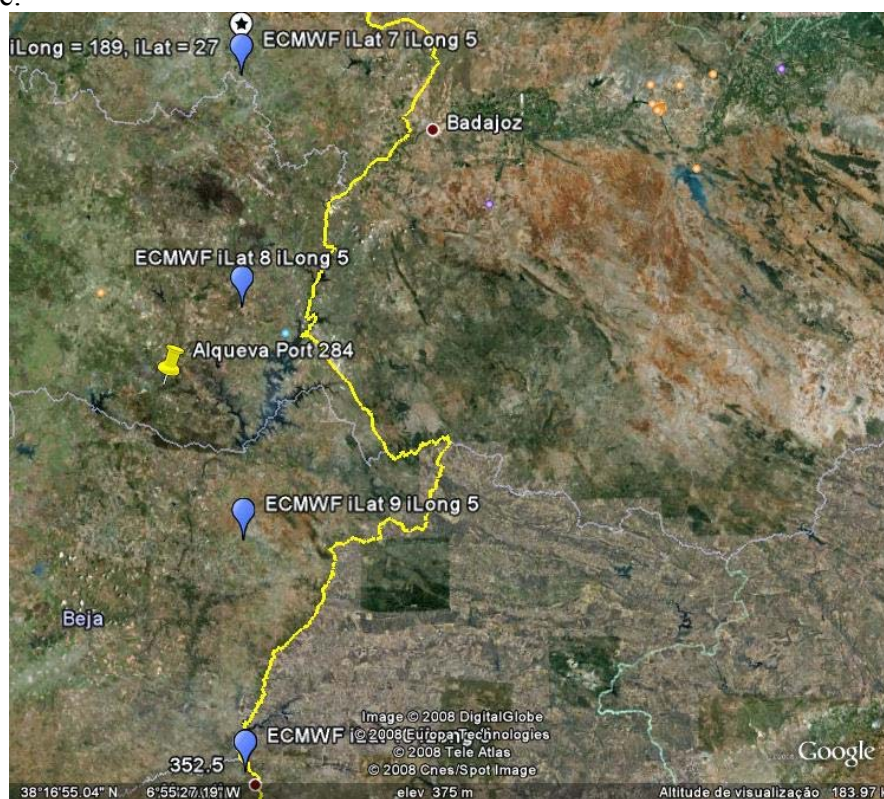


Figura 110: Distribuição dos pontos de reanálise do ECMWF para o ponto em estudo de S. Pedro de Portel. Google Earth®

O ponto mais a Sul é coincidente com o ponto de reanálise analisado anteriormente, o ponto mais a Norte está distanciado um pouco mais de 5 km do ponto de reanálise do

NCEP/NCAR para os 10 metros de altura acima do solo. Em seguida são mostrados os resultados obtidos para cada um destes pontos:

➤ Ponto mais a Norte

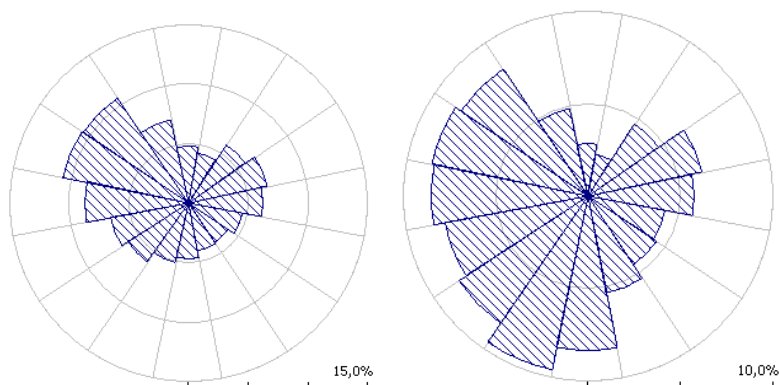


Figura 111: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado mais a Norte

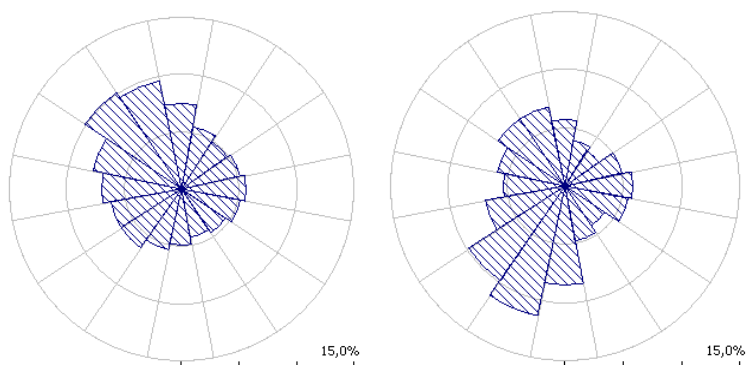


Figura 112: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado mais a Norte

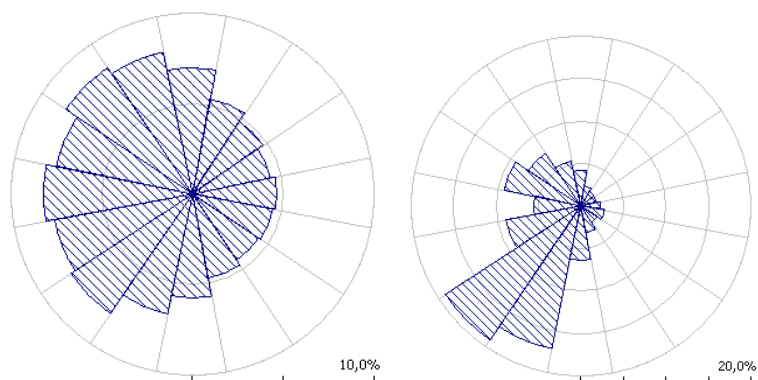


Figura 113: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado mais a Norte

➤ Ponto ligeiramente a Norte

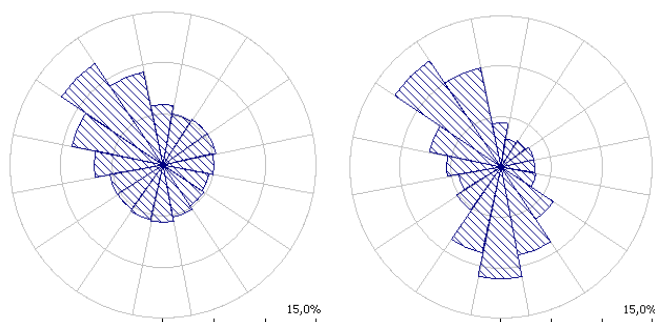


Figura 114: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado ligeiramente a Norte

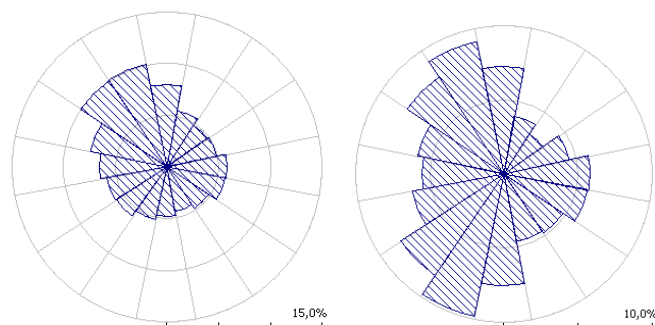


Figura 115: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado ligeiramente a Norte

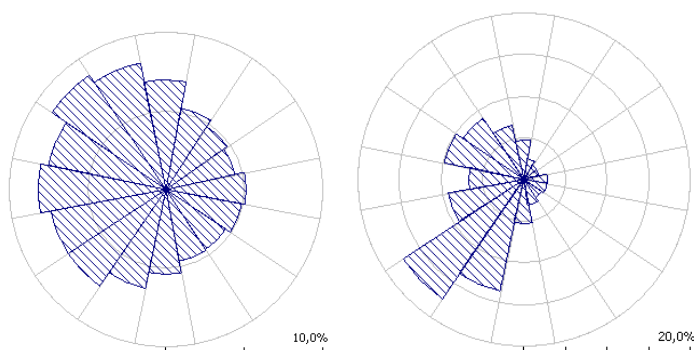


Figura 116: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado ligeiramente a Norte

➤ Ponto ligeiramente a Sul

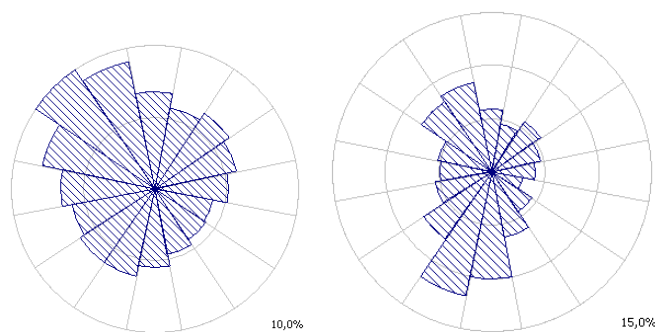


Figura 117: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado ligeiramente a Sul

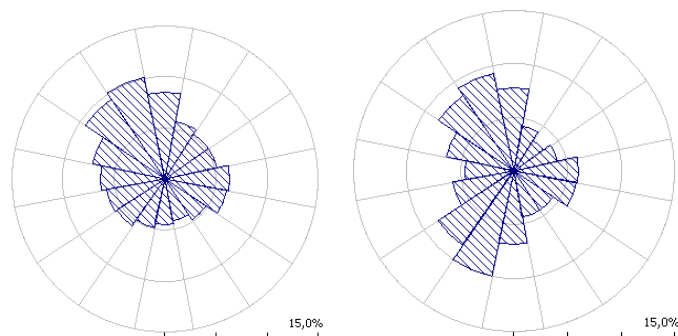


Figura 118: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado ligeiramente a Sul

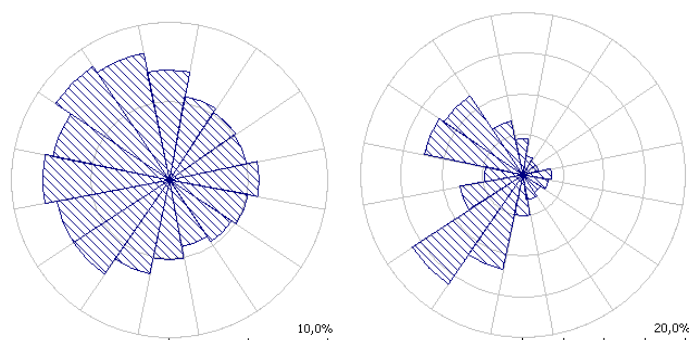


Figura 119: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado ligeiramente a Sul

➤ Ponto mais a Sul

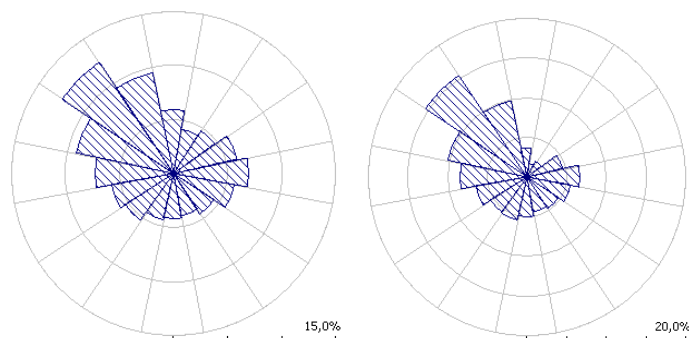


Figura 120: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 10 metros situado mais a Sul

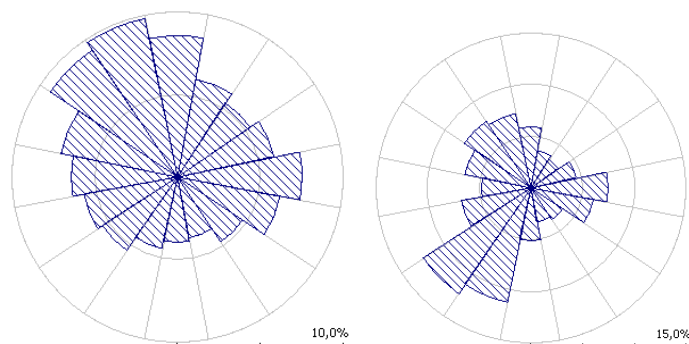


Figura 121: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 925 hPa situado mais a Sul

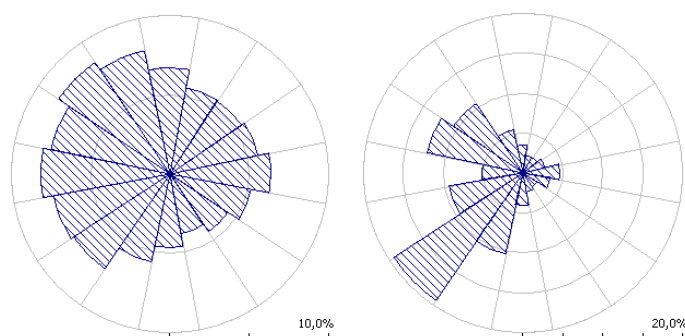


Figura 122: Rosa-dos-ventos e de potência calculados para o local da estação de medição PORT284 a partir do ponto de 850 hPa situado mais a Sul

Verifica-se que os resultados obtidos continuam muito maus. As rosas-dos-ventos e de potência calculadas são bastante diferentes das obtidas a partir dos dados de vento locais e as potências ficam muito aquém dos valores que se prevêem. O terreno não consegue influenciar a direcção suficientemente, para poder influenciar as rosas obtidas a partir dos dados das séries de reanálise.

8. Conclusão

Tentar obter a estimativa preliminar do potencial eólico de um determinado local sem se conhecerem os dados de vento locais é uma tarefa arrojada. Conseguindo-se realizar esta tarefa, é diminuído, consideravelmente, o tempo de estudo de um local onde se desconheçam estes dados, pois actualmente é necessário proceder à instalação de uma estação de mediação e ter, no mínimo, um ano de dados de vento, sendo aconselhável que se tenha o maior período possível, para se começar o estudo.

Para se proceder ao cálculo do potencial eólico, foram estudados dois locais com orografias bastante distintas, onde são muito bem conhecidos os dados de vento locais. Calcularam-se as potências eólicas a partir dos ficheiros disponíveis pelas séries de reanálise e fez-se a comparação dos resultados obtidos com os que advieram dos dados de vento locais.

Para o local da Serra do Açor, as rosas-dos-ventos conseguiam ser muito bem previstas a partir dos dados de reanálise para as alturas do geopotencial mais baixas, nomeadamente 925 hPa e 850 hPa. Também se conseguiu uma rosa-dos-ventos com boa aproximação à real, a partir dos ficheiros do nível sigma 0,995. Por outro lado, a potência eólica e a velocidade média previstas ficaram muito aquém do valor esperado, obtendo-se resultados bastante inferiores aos verificados localmente. A única excepção foi a verificada com a altura de geopotencial de 600 hPa, caso em que se verificaram resultados bastante mais próximos dos reais.

Foi utilizada uma grelha de $6 \times 6 \text{ km}^2$ em torno do ponto em estudo, para se verificar mais pormenorizadamente, os valores da potência eólica e da velocidade média previstas. Conseguiu-se constatar o seguinte: tanto a densidade de potência como a velocidade média, não correspondem àquilo que se verifica na realidade; contudo, observando os resultados, verifica-se que os valores das potências máximas e mínimas, assim como os das velocidades, ocorrem nos mesmos locais em que se verificavam os máximos e mínimos obtidos a partir dos dados de vento locais. A aproximação tem pois, algum interesse do ponto de vista qualitativo da distribuição do recurso.

Para o caso do ponto de estudo em S. Pedro de Portel, os resultados foram um pouco piores do que os obtidos no ponto do Açor, principalmente na previsão das rosas-dos-ventos, que permaneciam iguais às observadas pelas séries de reanálise. A potência e a velocidade média calculadas a partir das alturas de geopotencial, encontravam-se bastante abaixo dos valores verificados, enquanto para os resultados obtidos a partir dos dados de 10 metros acima no nível do solo e do nível sigma 0,995, se encontravam acima. Para além da forma das rosas-dos-ventos não ser boa, também a forma das rosas de potência não o era.

Tal como no caso de estudo do Açor, também para este local foi utilizada uma grelha de 36 km^2 em torno do ponto de estudo. Os resultados aqui obtidos foram em tudo semelhantes ao caso de estudo anterior: maus resultados na previsão da densidade de potência e da velocidade média, mas uma boa previsão quanto aos locais com melhores e piores condições em termos eólicos.

Os resultados descritos foram obtidos utilizando os valores das séries de reanálise desde o seu início, 1948, pois desta forma estes não se encontram influenciados por anos atípicos sob o ponto de vista eólico que, eventualmente, tenham ocorrido. Ambos os locais, foram também simulados utilizando apenas valores de entrada para o mesmo período dos dados observados localmente; os resultados obtidos foram em tudo semelhantes aos descritos anteriormente, pelo que foi decidido não os apresentar neste relatório, pois iriam aumentar a extensão deste trabalho, sem introduzir nada de novo.

Face a estes resultados, resolveu-se fazer um teste ao ponto de S. Pedro de Portel e ao programa utilizado, a partir de uma previsão cruzada entre esta estação e outras duas onde, também estão muito bem definidos os dados de vento locais, situando-se uma a 30 km e outra a 90 km, aproximadamente. Os resultados daqui obtidos também não foram muito animadores, o que leva a concluir que, ou existem problemas no programa de simulação, o que é muito improvável, pois este programa já é utilizado há diversos anos e as condições do relevo nesta zona cumprem razoavelmente aquilo que são os requisitos para o seu uso, ou então, o problema situa-se na estação de medição. Esta estação foi colocada aproveitando uma antena de rádio que já estava colocada no local, existindo mesmo ao seu lado uma capelinha, numa pequena elevação, que pode influenciar os valores obtidos por esta estação de medição.

Finalmente, procedeu-se à comparação entre os resultados obtidos a partir de duas séries de reanálise distintas, uma cobrindo todo o globo (NCEP/NCAR), outra cobrindo apenas o terreno europeu (ECMWF) para um período de 40 anos que findou em Agosto de 2002. Os resultados obtidos a partir destes valores de reanálise, foram em tudo semelhantes: a velocidade média e a potência continuavam longe do valor esperado e as rosas, tanto a de potência como a dos ventos, não correspondiam à realidade.

Como conclusão deste trabalho, salienta-se o facto de não se conseguir, por esta via, prever a potência eólica nem a velocidade do vento para um local específico, sem dados recolhidos localmente. Contudo, conseguiu-se uma boa previsão da rosa-dos-ventos no caso do Açor, mas não tão boa no caso de S. Pedro de Portel, o que pode indicar que o terreno pode não influenciar suficientemente para alterar o sentido e intensidade do vento. Mas os melhores resultados obtiveram-se nos aspectos qualitativos da distribuição do vento sobre o terreno. Consegue-se saber, com algum rigor, quais os locais com melhores ou piores condições sob o ponto de vista eólico, o que permite ter uma ideia da distribuição do vento, em termos potenciais sobre determinado local. Isto pode ser de grande utilidade na fase preliminar do desenvolvimento de um projecto

Como trabalho futuro, é proposto que se faça o mesmo tipo de simulação, mas para outros locais, distintos entre si, e comparar a qualidade dos resultados obtidos em cada um deles, pois os dados de reanálise não têm o mesmo rigor em todos os pontos do planeta.

Também está previsto que o ECMWF lance umas novas séries de reanálise contendo dados desde o ano de 1989 até ao presente, continuando a ser actualizadas periodicamente, tal como as do NCEP/NCAR, que são actualizadas todos os dias com os valores que ocorreram há três dias atrás. Estas séries, serão conhecidas por ERA-INTERM, mas apenas estão previstas sair no final do Verão ou início do Outono.

Para continuar este estudo para Portugal, era de valor, utilizar dados provenientes de outras fontes de informação que disponham dados do vento para este fim, como por exemplo o Instituto de Meteorologia.

Apesar de fazer uma estimativa do potencial eólico de uma região quando se desconhecem os dados de vento locais ser uma tarefa bastante complicada, este assunto merece a busca contínua de soluções e é um assunto que não deve ser posto de parte.

9. Referências

- [1] Santos, José R., *O Sétimo Selo*. Lisboa, Portugal: Gradiva, 2007.
- [2] Fernandes, Paulo V., *Caracterização De Regimes De Vento Visando O Seu Aproveitamento Energético*. Porto, Portugal: Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [3] Pinto, Carlos, Ricardo Guedes, Paulo Pinto, e Miguel Ferreira. *NCEP/NCAR Reanalysis Data for the Portuguese Mainland*. Maia, Portugal: MEGAJOULE.
- [4] Boyle, Godfrey. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press, 1996.
- [5] Collares-Pereira, Manuel. *Energias Renováveis, a Opção Inadiável*. Lisboa, Portugal: Sociedade Portuguesa de Energia Solar, 1998.
- [6] Dodge D M. 2008 [cited 2008 Apr 16]. Telosnet. [Internet]. Littleton, Estados Unidos da América: Disponível em: <http://www.telosnet.com/wind>.
- [7] Burton, Tony, David Sharpe, Nick Jenkins, e Ervin Bossanyi. *Wind Energy Handbook*. West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons, 2001.
- [8] Ramage, Janet. *Guia Da Energia*. Trad. Carlos Pinto. Lisboa, Portugal: Monitor, 2003.
- [9] Millett B. 2008 [cited 2008 Apr 21]. Australian Windmills. [Internet]. Wisemans, Australia: Australian Windmills. Disponível em: <http://au.geocities.com/ozwindmills/SouthernCross.htm>.
- [10] Patel, Mukund R. *Wind and Solar Power Systems*. Boca Raton, Estados Unidos da América: CRC Press, 1999.
- [11] Eggleston E. 2008 [cited 2008 Apr 21]. American Wind Energy Association. [Internet]. Washington DC, Estados Unidos da América: American Wind Energy Association. Disponível em: <http://www.awea.org/faq/vawt.html>.
- [12] Rodrigues, Álvaro. Apontamentos da disciplina de Energias Renováveis da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Ano Lectivo 2006-2007.
- [13] Miranda, Pedro A. *Meteorologia e Ambiente*. Lisboa, Portugal: Universidade Aberta, 2001.
- [14] Troen, Ib, e Erik L. Petersen. *European Wind Atlas*. Roskilde, Dinamarca: Risø National Laboratory, 1989.
- [15] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Leetmaa A, Reynolds R, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak K, Mo K C, Ropelewski C, Wang J, Jenne R, Joseph D. 1996. *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. Bulletin of the America Meteorological Society 77(3):437-71.
- [16] Robert Kistler, Eugenia Kalnay, William Collins, Suranjana Saha, Glenn White, John Woollen, Muthuvel Chelliah, Wesley Ebisuzaki, Masao Kanamitsu, Vernon Kousky, Huug van den Dool, Roy Jenne, e Michael Fiorino. *The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis*. Bulletin of the America Meteorological Society 82.2 (2001): 247-267.
- [17] 2008 [cited 2008 May 27]. The NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA/ESRL Physical Sciences Division. [Internet]. Boulder, Estados Unidos da América: Earth System Research Laboratory. Disponível em: <http://www.cdc.noaa.gov/>.

- [18] Raposo, Daniel. *Comparação Das Cartografias De Ocupação De Solo CLC200, MOD12Q1, GLC200 E PELCOM Para Portugal Continental*. Lisboa, Portugal: Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006.
- [19] Branco, José F. *Estudo Sobre a Aplicabilidade De Modelos De Distribuição Da Velocidade Do Vento Em Terreno Montanhoso*. Porto, Portugal: Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1991.
- [20] Risø, ed. *WAsP 8 Help Facility and On-line Documentation*. Roskilde, Dinamarca: Risø National Laboratory, 2007.
- [21] Schwartz, Marc N., and Raymond L. George. *On the Use of Reanalysis Data for Wind Resource Assessment*. Springfield, Estados Unidos da América: NTIS - National Technical Information Service, 1999.
- [22] Grimm A M. 2008 [cited 2008 Mai 19]. Departamento de Física - UFPR. [Internet]. Curitiba, Brasil: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>.
- [23] 2008 [cited 2008 Apr 24]. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Internet]. San Francisco, Estados Unidos da América: Wikimedia Foundation, Inc., Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Mistral_%28wind%29.
- [24] 2008 [cited 2008 Apr 24]. Aquarela. [Internet]. Brasil: Veleiro.net. Disponível em: <http://www.veleiro.net/Aquarela/Textos/Ventos.htm>.
- [25] Casaca, João, João Matos, e Miguel Baio. *Topografia Geral*. Lisboa, Portugal: Lidel - Edições Técnicas, LDA, 2000.
- [26] Matos, João L. *Fundamentos De Informação Geográfica*. Lisboa, Portugal: Lidel - Edições Técnicas, LDA, 2001.
- [27] 2008 [cited 2008 Jun 23]. Instituto Geográfico do Exército. [Internet]. Lisboa, Portugal: Instituto Geográfico do Exército. Disponível em: <http://www.igeoe.pt/>.

Anexos

Anexo A – Componentes da 2ª Lei de Newton associados a um elemento de volume num fluido

A.1. Força da Gravidade ($m\vec{g}$)

Esta força não tem muito que explicar, pois ela é sobejamente conhecida. Deve-se à acção que a gravidade exerce sobre todos os corpos que estão presentes na atmosfera terrestre e uma partícula de ar não é excepção. Sendo que, esta força, é aplicada no centro de massa da partícula [13].

A.2. Força do gradiente de pressão (\vec{F}_p)

A força do gradiente de pressão resulta do facto da pressão exercida pelo ar circundante sobre a partícula, variar ligeiramente de ponto para ponto na superfície desta, sendo a componente vertical desta força a impulsão. Numa atmosfera em repouso, é válida a Lei Fundamental da Hidrostática, também conhecida pela Lei de Pascal que diz: “A diferença de pressão entre dois pontos no interior de um fluido é igual ao peso, por unidade de área, da coluna de fluido compreendida entre os níveis desses pontos”.

Então, numa atmosfera em repouso, a pressão exercida nas paredes laterais tem resultante nula, e admitindo que o elemento tem área A e altura Δz , pode escrever-se a seguinte equação de equilíbrio:

$$|Impulsão| = |Peso|$$

$$A(p_{base} - p_{topo}) = \rho A(z_{topo} - z_{base})g \quad (4)$$

Admitindo que a pressão só depende da altura, ou seja, da componente z , a equação anterior pode escrever-se da seguinte forma:

$$\Delta p = -\rho g \Delta z \quad (5)$$

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g$$

Esta é a condição de equilíbrio hidrostático.

Quando um gradiente de pressão se desenvolve, o ar tende a mover-se das regiões de pressão mais alta para as de pressão mais baixa, de maneira a eliminar esse mesmo gradiente. Como a diferença de temperatura gera diferenças de pressão, o aquecimento desigual da superfície da Terra gera estas diferenças. Então, a radiação solar é, em última análise, a força geradora do vento [13].

A.3. Força de Atrito (\vec{F}_a)

Esta força resulta da viscosidade do ar e actua tangencialmente na sua superfície, onde a força do gradiente de pressão é normal a essa superfície, opondo-se ao seu movimento em relação a outras partículas. Como o ar é muito pouco viscoso, esta força costuma ser desprezável, a não ser no caso dos movimentos inferiores ao milímetro. Nas primeiras centenas de

metros acima da superfície terrestre, o efeito da turbulência pode ser, em muitos casos, considerado semelhante ao do atrito [13].

A.4. Força Centrífuga (\vec{F}_{cf})

A força centrífuga e a força de coriolis são forças de inércia, ou seja, forças aparentes que resultam do facto de observarmos o movimento do ar a partir de um ponto fixo na superfície de um planeta em rotação. Em relação à força de coriolis, a força centrífuga é de mais fácil compreensão. Esta resulta directamente da rotação da Terra e consiste numa força perpendicular ao eixo de rotação terrestre, dirigida para fora. Em termos práticos, a força centrífuga devida à rotação terrestre, pode ser considerada como uma ligeira alteração do valor da gravidade local.

A força centrífuga é dada pela expressão:

$$|\vec{F}_{cf}| = m\Omega^2 R_T \cos \phi \quad (6)$$

em que $\Omega = 7,293 \times 10^{-5}$ rad/s, que é a velocidade angular da terra, R_T é o raio da Terra, tomado como sendo aproximadamente 6371 km, uma vez que a Terra é ligeiramente “achatada” e ϕ a latitude. A força centrífuga é perpendicular ao eixo da Terra e dirigida para o exterior, sendo máxima no Equador e nula nos Pólos. A presença desta força é responsável pelo ligeiro achatamento da Terra, de forma a garantir que, em cada ponto, a força resultante da acção conjunta da atracção gravitacional e da força centrífuga seja perpendicular à superfície. Deve-se ainda notar que, devido ao achatamento da Terra a força gravitacional tem uma componente horizontal que, no caso de um objecto em repouso, está em equilíbrio com a componente horizontal da força centrífuga [13].

A.5. Força de Coriolis (\vec{F}_{cor})

A força de coriolis é uma consequência mais subtil da rotação da Terra. Enquanto a força centrífuga se faz sentir em todos os objectos na superfície da Terra, mesmo aqueles que estão em repouso, a força de coriolis só é notada no caso de objectos com movimento relativo em relação ao planeta. Quando um objecto se desloca em relação à superfície da Terra, o seu movimento em relação às estrelas consideradas fixas, vai ser a soma do seu movimento em relação à Terra com o próprio movimento da Terra no espaço. Desta forma, mesmo que o movimento relativo seja uniforme e rectilíneo, o movimento absoluto será curvilíneo, implicando acelerações centrífugas, que não são dadas pela expressão (6), pois o objecto desloca-se a uma velocidade diferente da Terra. Então, a diferença entre a força centrífuga total e a força centrífuga que actua sobre um objecto em repouso é a força de coriolis.

Devido à força de coriolis, um objecto em movimento livre horizontal no Hemisfério Norte sofre uma aceleração perpendicular à sua velocidade, para a direita, de módulo:

$$a_{cor} = (2\Omega \sin \phi)v = fv \quad (7)$$

onde v é o módulo da sua velocidade e f o parâmetro de Coriolis. No Hemisfério Sul a expressão continua a ser válida, mas verifica-se um desvio para a esquerda ($\sin \phi < 0$). Este fenómeno poderá ser melhor entendido observando a figura seguinte:

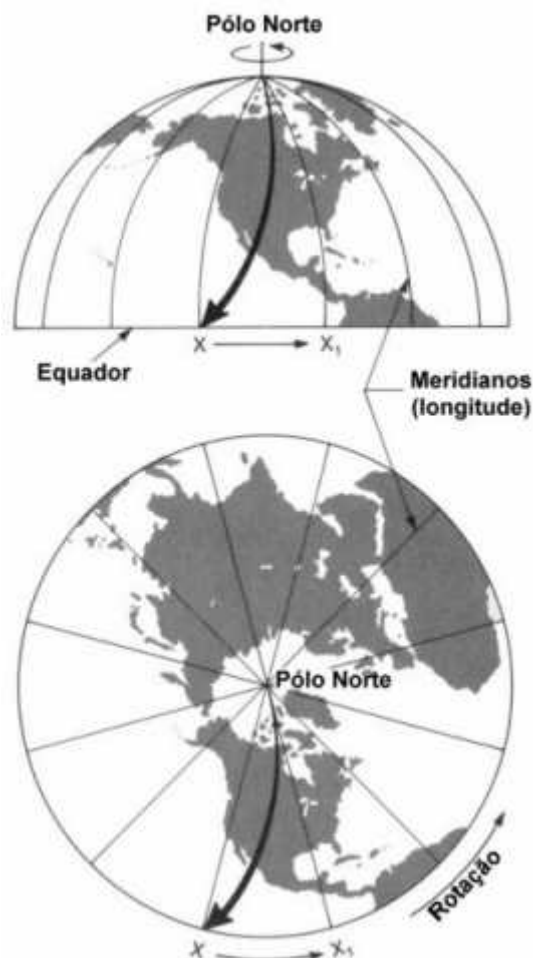


Figura 123: Efeito de Coriolis no Hemisfério Norte. <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>

Imagine-se um míssil lançado do Pólo Norte para um alvo no Equador (Figura 123). Admitindo que demora uma hora a atingir o alvo, o planeta roda 15° para Este durante o voo. Para um observador fixo na Terra parece que o míssil se desviou 15° para a direita, mas para um observador fixo no espaço a trajetória foi rectilínea, que foi o que aconteceu na realidade. A rotação da Terra é que produziu uma deflexão aparente para a direita, para o observador fixo na Terra. Note-se que o míssil foi desviado para a sua direita devido à sua rotação, vista do espaço, ser na direcção anti-horária. No Hemisfério Sul a rotação é no sentido horário, fazendo com que a trajetória seja desviada para a esquerda.

Embora seja fácil de observar o efeito de coriolis quando o movimento é de Norte para Sul, já é mais complicado observar como um vento de Oeste para Este, será desviado. Observando as figuras seguintes, uma do Hemisfério Norte e outra do Hemisfério Sul, verifica-se que um vento de Oeste se foi transformando num vento de Noroeste do Hemisfério Norte e num vento de Sudoeste no Hemisfério Sul.

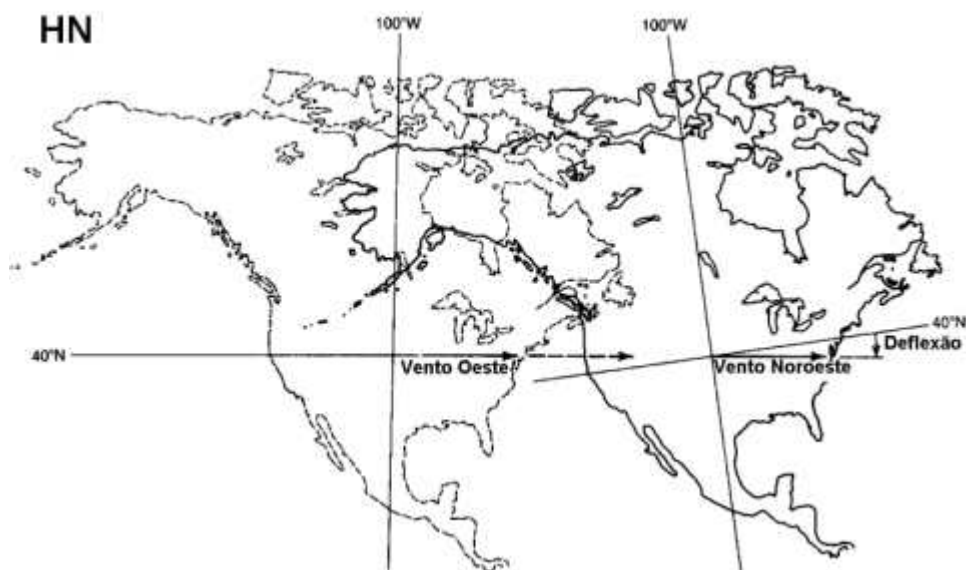


Figura 124: Efeito de coriolis no vento do Hemisfério Norte. <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>

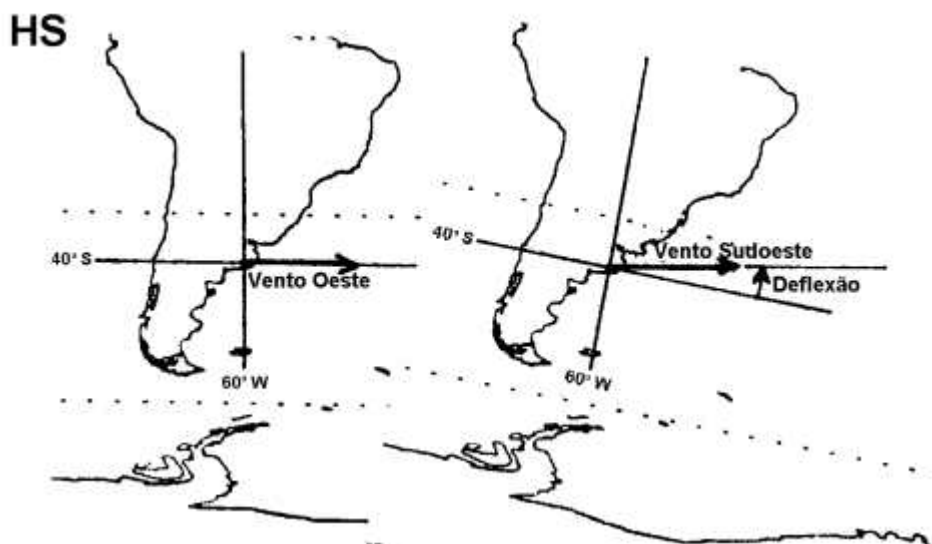


Figura 125: Efeito de coriolis no vento do Hemisfério Sul. <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>

De acordo com a equação (7), a aceleração de Coriolis depende da velocidade do vento, ou seja, o desvio é tanto maior, quanto maior for a velocidade. Isto deve-se ao facto de velocidades mais elevadas do vento percorrerem uma distância maior em relação a velocidades mais lentas, para o mesmo período de tempo. Quanto maior o deslocamento, maior o desvio provocado pelo efeito de coriolis.

Observando a equação (7), também se verifica que a força de coriolis, através da sua aceleração, depende da latitude, sendo máxima nos Pólos e nula no Equador, que é precisamente o oposto da força centrífuga. Isto ocorre, devido ao facto da força de coriolis provir da rotação Terrestre, que produz também, uma rotação do sistema de referência fixo à Terra. Nos Pólos, locais onde a superfície é perpendicular ao eixo da Terra, a rotação diária faz com que o plano horizontal do sistema de coordenadas de referência, faça uma rotação completa em torno do eixo vertical em cada 24 horas. Ou seja, a superfície sobre a qual o vento sopra, faz uma rotação completa em cada dia. No Equador acontece precisamente o oposto: a superfície é paralela ao eixo de rotação de Terra, o que faz com esta não sofra rotação em torno do seu eixo perpendicular, fazendo com que a força de coriolis seja nula. Esta diferença pode ser mais fácil-

mente visualizada, se se imaginar um poste vertical no Pólo Norte e outro situado no Equador. Durante um dia, o poste do Pólo Norte sofre uma rotação completa sobre si mesmo, mas o poste situado no Equador não sofre nenhuma rotação sobre si próprio [13] [22].

Anexo B – Breve descrição dos sistemas de ventos locais no Sul da Europa

- O Mistral é um vento catabático, ou seja, transporta ar de elevada densidade descendo a encosta devido à acção da gravidade. É seco e frio, mais frequente no Inverno e na Primavera, soprando na costa meridional de França, a partir de Nice e estende-se por Espanha e Itália até Génova. A sua direcção é geralmente entre Norte e Noroeste, mas localmente pode sofrer influência geográfica e soprar quase de Oeste.
- O Scirocco é o vento meridional que sopra do deserto, a Sul e Este do Mediterrâneo. É um vento quente, seco e com muito pó, que se humidifica ao passar pelo Mar Mediterrâneo. Quando é forte, mantém-se seco e transporta consigo muito pó e areia muito fina.
- O Etesians é um vento de Norte sobre o Mar Egeu, de carácter monçónico, proveniente de uma grande depressão que se forma sobre a Ásia no Verão, que sopra nos dias mais quentes e possui uma notável constância em direcção e intensidade. Sopra de Norte, sendo relativamente seco e deixa o céu limpo, chegando por vezes à costa do Egipto.
- O Bora é um vento catabático do Mar Adriático, violento e com fortes rajadas, geralmente muito frio e seco. É classificado em dois tipos: *Bora Scura* que é associado a chuva violenta ou neve, por vezes com muita neblina; e o *Bora Chiara* que vem com nuvens baixas, e costuma durar vários dias, soprando mais forte de manhã e acalmando à medida que se aproxima a noite. É mais frequente a Norte do Adriático entre Outubro e Março e vai diminuindo à medida que vai para Sul.
- O Levante é um vento gerado do Mar Mediterrâneo, à volta das Ilhas Baleares que sopra de Este onde atinge a sua maior intensidade no Estreito de Gibraltar. A Este deste Estreito, este vento vem com muita névoa e chuva, mas a Oeste é um vento seco. É mais forte na Primavera e Outono trazendo consigo muita chuva e no Verão é húmido e traz consigo bastante nevoeiro. Este vento pode ocorrer em qualquer altura do ano, mas é mais frequente e mais forte no período compreendido entre Maio e Outubro.
- O Vardarac, também conhecido como Verdarro é um vento proveniente de Noroeste que sopra no Mar Egeu, passando na costa Norte de Salónica. Assemelha-se bastante ao Bora.
- O Tramontana é um vento catabático, frio, proveniente das montanhas do Norte da Europa. No Verão vem acompanhado com chuva forte e no Inverno costumam trazer fortes Nevões. Em França é um vento forte, seco e frio soprando de Norte ou Noroeste. É bastante semelhante ao Mistral, mas seguem caminhos diferentes. O Tramontana vai ganhando velocidade à medida que passa entre os Alpes e o Maciço Central, enquanto o Mistral flui por entre os Pirenéus e o Maciço Central. Na Itália, sopra entre as direcções de Nordeste e de Norte vindo dos Alpes e Apeninos, em direcção à costa. É muito comum na costa Oeste de Itália e no Norte da Córsega, e é mais forte antes do nascer do Sol, podendo atingir velocidades na ordem dos 70 km/h.
- O Khamsin é o Scirocco do Médio Oriente. É um vento quente e seco, com muito pó, proveniente de Este e de Sul do deserto. No caso do Egipto, é proveniente do Sahara, e em Israel é proveniente do deserto Árábico. Dura de 1 a 3 dias, entre os meses de Fevereiro a Junho, mas é mais frequente em Março e Abril. Normalmen-

te inicia-se de Este com céu limpo e vai alterando a sua direcção para Sul, com tempestades de areia. De seguida, modifica novamente a direcção, agora para Noroeste e as suas condições alteram-se: a temperatura diminui, a humidade aumenta e o pó desaparece, surgem nuvens e por vezes uns aguaceiros rápidos.

- O Ghibli é o Scirocco proveniente da Líbia, que atinge o Sul de Itália, proveniente do deserto do Sahara. Ou seja, é um vento quente e seco com grandes quantidades de pó, proveniente de Sul e Sudeste que ocorre na Primavera e Verão.
- O Grecale é um vento forte de Inverno proveniente da Grécia, que atinge a Itália e Malta. Ocorre quando uma área de baixa pressão se move para a área do Mediterrâneo a Sul de Malta, e causa um vento frio e forte.
- O Maestrale é a evolução do Mistral. Há quem diga que são o mesmo vento e que não se deve fazer a separação entre os dois.
- O Ponente é um vento de Oeste, que sopra na costa Mediterrânea francesa e na Córsega e é muito semelhante ao Maestrale.
- O Libeccio sopra de Oeste e Sudoeste, bastante frequente no Norte da Córsega durante todo o ano. Normalmente, provoca grande ondulação marítima com grandes rajadas. No Verão é bastante persistente e durante o Inverno alterna com o Tramontana.
- O Marin é um vento quente e húmido no Golfo do Leão, em França. Sopra de Sudeste e tráz chuva e nevoeiro costeiro a esta região. Quando é calmo, cria óptimas condições no estado mar no Golfo, mas quando é forte provoca uma forte ondulação que atinge a costa com uma força elevada.
- O Chili é o Scirocco vindo da Tunísia.
- O Vendaval é um vento forte de Inverno, que sopra de Sudoeste, sobre o Mar Mediterrâneo, principalmente no estreito de Gibraltar. É predominante de Setembro a Março e é acompanhado de mau tempo.
- O Leveche é o Scirocco da Espanha proveniente do Sahara. Quente, seco, sufocante e transporta consigo pó e areia.
- O Levanter, levanta-se à volta das Ilhas Baleares e sopra para Oeste, tendo grande intensidade ao passar no Estreito de Gibraltar. A Este do Estreito, vem carregado com nevoeiro e chuva, mas é seco no lado Oeste. Pode ocorrer em qualquer altura do ano mas é mais frequente entre Maio e Outubro [14] [23] [24].

Anexo C – Origem e Proveniência dos Dados

Neste anexo estão representadas, para cada tipo de dados, que foram utilizados na elaboração das séries de reanálise, a sua proveniência e a sua quantidade. A fonte é apresentada em siglas e foram mantidas as siglas originais que estão representadas na

Tabela 16. Todas estas imagens foram retiradas de obras que estão referenciadas na Bibliografia.

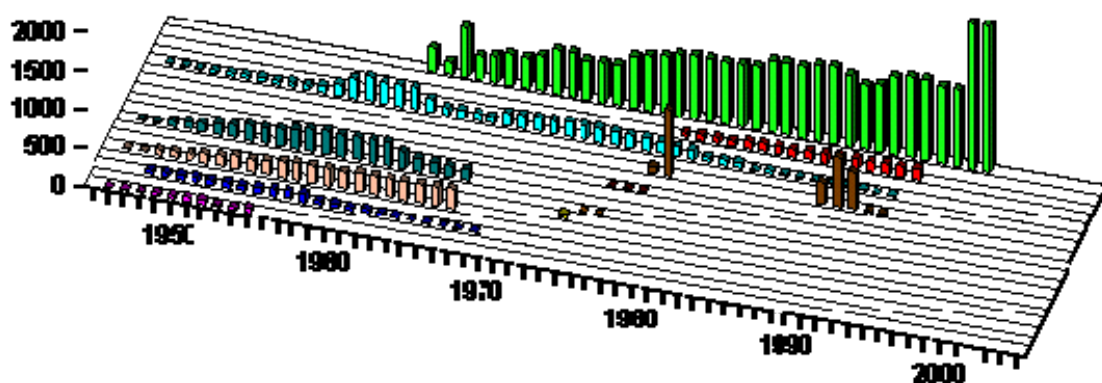


Figura 126: Dados provenientes de *pibals* e *RAOB's*. De trás para a frente em megabytes de dados: NMC, JMA, SPEC, FGGE/ECM, USAF, TD54, TWERLE, GATE, USCR, TD53 e CARDS. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis. 1999

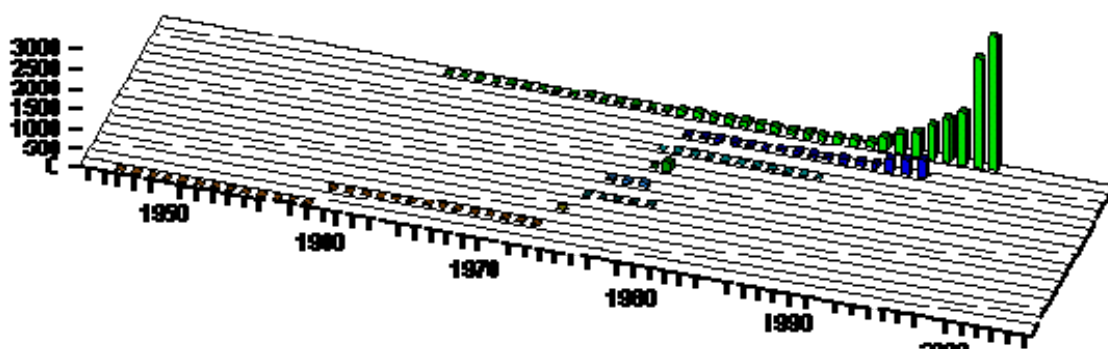


Figura 127: Dados provenientes de aeronaves. De trás para a frente em megabytes de dados: NMC, JMA, NZAC, USAF, GASP, GATE, SDAC e TD57. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis. 1999

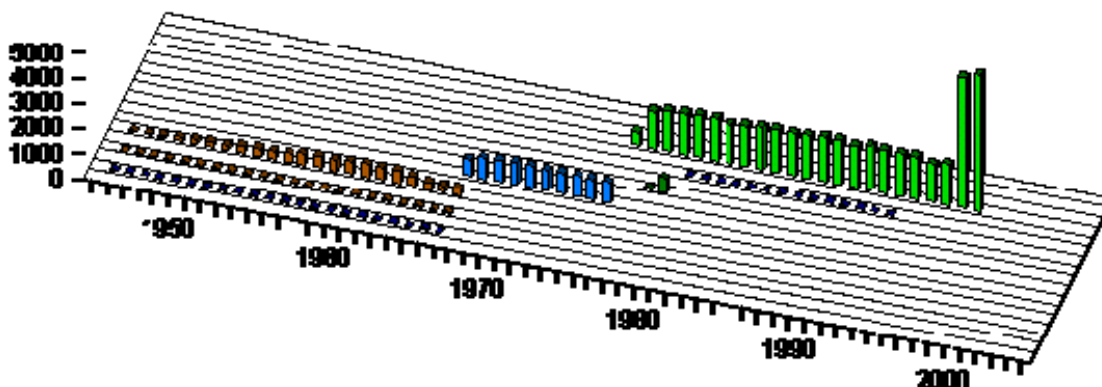


Figura 128: Dados de superfície. De trás para a frente: NMC, ICEB, FGGE, USAF, TD13, TD14 e USSR. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis. 1999

Tabela 16: Lista das fontes utilizadas para a maior parte dos dados recolhidos para a elaboração das séries de reanálise

NMC	Actualmente NCEP, possui dados desde 1962. Como NMC até 1997 a partir desta data como NCEP
USCR	<i>RAOB's</i> e <i>pibals</i> controlados pelos Estados Unidos que contribuíram para o período de 1946 até 1967
TD13	Cassetes de registo de dados, cada uma delas com 13 gravações, de observação de dados de superfície para o período de 1946 até 1967
TD14	Cassetes de registo de dados, cada uma delas com 14 gravações, de observação de dados de superfície para o período de 1946 até 1967
TD53	Cassetes de registo de dados, cada uma delas com 53 gravações, de observação de <i>RAOB's</i> e <i>pibals</i> para o período de 1948 até 1969
TD54	Cassetes de registo de dados, cada uma delas com 54 gravações, de observação de <i>RAOB's</i> e <i>pibals</i> para o período de 1943 até 1967
TD57	Cassetes de registo de dados, cada uma delas com 57 gravações, de observação de aeronaves para o período de 1947 até 1959
USAF	Gravações de dados da Força Aérea Americana dos dados de superfície do período de 1967 a 1976, e relatórios de aeronaves entre os anos de 1976 e 1978
USSR	Dados das observações de superfície da ex-URSS para o período de 1946 e 1967
CARDS	Dados de <i>RAOB's</i> e <i>pibals</i> para o período de 1946 até 1956 provenientes da <i>Comprehensive Aerological Reference Data Set</i> .
GATE	<i>RAOB's</i> e dados de aeronaves provenientes desta experiência da GARP para o ano de 1974
GASP	Dados provenientes de aeronaves, principalmente para as zonas tropicais, para o período de 1975-1979, provenientes da <i>Global Atmospheric Sampling Program</i>
TWERLE	Relatórios de <i>RAOB's</i> para balões a pressões constantes para o período de 1974-1975
SDAC	Conjunto de relatórios de aeronaves sobre terreno tropical para o período de 1960-1973
NZAC	Relatórios provenientes dos relatórios nacionais da Nova Zelândia entre os anos de 1978 e 1988
COADS	Relatórios da superfície marítima, para o período de 1946 a 1994, disponibilizados pelo <i>Comprehensive Ocean Data Set</i>
ICEB	Dados provenientes e bóias em massas de gelo instaladas na Antárctida para o período de 1980 a 1993
SPEC	Diversos relatórios provenientes de diversas fontes e de diversos países, reunidos pelo NCAR para o período de 1946 a 1993
FGGE	Observações feitas na primeira experiência do GARP para o ECMWF, cobrindo o período de Dezembro de 1978 até Novembro de 1979

ECM	Dados do ECMWF provenientes de <i>RAOB's</i> e <i>pibals</i> para o período de Agosto de 1993 até ao mês de Dezembro de 1993
JMA	Dados disponibilizados pela Agencia Meteorológica Japonesa proveniente de diversas fontes, para o período de 1978 a 1994, cobrindo as áreas da Ásia e do Pacífico junto deste continente

Anexo D – Classificação das variáveis das séries de reanálise do NCEP/NCAR

As grelhas de todos os campos das séries de reanálise foram classificadas em quatro classes, tal como foi explicado na Secção 4.3. Este anexo contém a classificação completa de todas as variáveis de cada *dataset* que é explicado na Secção 4.4.

D.1. Nível de pressão (*Pressure level*)

Para o *dataset* do nível de pressão, encontram-se as seguintes variáveis com as seguintes classificações, onde a coordenada vertical é a pressão do geopotencial e está disponível para os 17 níveis, excepto o valor de ómega e o da humidade relativa (Subsecção 4.4.1):

- A Temperatura do ar (*Air temperature*)
- A Altura do geopotencial (*Geopotential height*)
- B Humidade relativa (*Specific humidity*)
- B Ómega – Velocidade vertical (*Omega (vertical velocity)*)
- A Velocidade do vento na direcção U (*U-Wind*)
- A Velocidade do vento na direcção V (*V-Wind*)

D.2. Superfície (*Surface*)

O *dataset* de superfície encontra-se classificado da seguinte forma, em que os dados se encontram disponíveis para valores mensais, diários e de 6 em 6 horas (à frente de cada é indicado a componente vertical *z*):

- A Temperatura do ar (*Air temperature*) – Nível sigma 0,995
- B Água precipitada (*Precipitable water*) – Valores para toda a atmosfera
- B Pressão (*Pressure*) – Os valores de 6 em 6 horas encontram-se disponíveis para o nível sigma 0,995, os valores diários e mensais para o nível de superfície
- B Humidade relativa (*Relative humidity*) – Nível sigma 0,995
- A Pressão ao nível do mar (*Sea level pressure*) – Nível do mar
- A Velocidade do vento na direcção U (*U-Wind*) – Nível sigma 0,995
- A Velocidade do vento na Direcção V (*V-Wind*) – Nível sigma 0,995

Para além dos dados acima referidos, também existem valores que apenas se encontram disponíveis de 6 em 6 horas e para valores diários:

- B Índice de elevação da superfície (*Surface Lifted Index*) – Nível de superfície
- B Melhor Índice de Elevação de Superfície em 4 Camadas (*Best (4-layer) Lifted Index*) – Nível de superfície
- B Ómega – Velocidade Vertical (*Omega (Vertical Velocity)*) – Nível Sigma 0,995
- B Temperatura Potencial (*Potential Temperature*) – Nível sigma 0,995

Ou então, existem também valores que são constantes, ou seja, para cada ponto da grelha apenas existe um valor que é invariante no tempo, que é o caso de:

- D Altura do Geopotencial (*Geopotential hgt*) – Nível de superfície
- D Proporção terra-mar (*Land-sea mask*) – Nível de superfície

D.3. Fluxos de superfície (*Surface fluxes*)

Este *dataset* é de longe aquele que apresenta mais variáveis de reanálise, sendo apenas dadas para valores diários ou para valores de 6 em 6 horas e encontram-se divididas em 3 tipos: previsões válidas para 6 horas depois do tempo de referência, valores obtidos a partir de previsões utilizando dados passados e comparados com os que realmente aconteceram e médias de 6 horas começando no tempo de referência. Os níveis de referência são para superfície ou perto da superfície. Para os valores das previsões encontram-se os seguintes dados de reanálise, classificados como se mostra:

- B Temperatura do Ar a 2 metros (*Air Temperature 2m*) – 2 metros acima do nível do mar
- D Concentração do Gelo (*Ice Concentration*) – Nível de superfície
- C Índice de Evaporação Potencial (*Potential Evaporation Rate*) – Nível de superfície
- C Pressão (*Pressure*) – Nível de superfície
- C Escoamento da Água (*Water Runoff*) – Nível de superfície
- D Rugosidade da Superfície (*Surface Roughness*) – Nível de superfície
- B Humidade Específica a 2 metros (*Specific Humidity at 2 meter*) – 2 metros acima do nível de superfície
- C Mistura do Solo 0-10 cm (*Soil Moisture (0-10 cm)*) – Primeiros 10 cm do solo
- C Mistura do Solo 10-200 cm (*Soil Moisture (10-200 cm)*) – Dos 10 aos 200 cm no topo do solo
- AB Temperatura da superfície no Equilíbrio de radiação (*Skin Temperature*) – Nível de superfície e tem a ver com a interface entre a temperatura do solo e da atmosfera
- C Temperatura 0-10 cm (*Temperature of 0-10 cm layer*) – Primeiros 10 cm acima do solo
- C Temperatura 10-200 cm (*Temperature of 10-200 cm layer*) – Dos 10 aos 200 cm acima do solo
- C Temperatura aos 300 cm (*Temperature at 300 cm*) – 300 cm acima do nível de superfície
- B Velocidade do Vento na Direcção U aos 10 m (*U-Wind at 10 m*) – 10 metros acima do nível de superfície
- B Velocidade do Vento na Direcção V aos 10 m (*V-Wind at 10 m*) – 10 metros acima do nível de superfície
- C Profundidade da neve por cada metro quadrado (*Water Equivalent of Snow Depth*) – Nível de superfície, em que a unidade corresponde a 1 mm de água equivalente

Para os valores obtidos a partir de previsões utilizando dados passados e comparados com os que realmente aconteceram, apenas existem dois valores para reanálise que estão representados em seguida disponíveis para 2 metros acima do solo:

B Temperatura Máxima a 2 metros (*Maximum Temperature at 2 m*)

B Temperatura Mínima a 2 metros (*Minimum Temperature at 2 m*)

Para os valores das variáveis médias de 6 horas começando no tempo de referência, temos os seguintes valores, sendo todos eles elaborados para o nível de superfície:

C Nuvens forçando o fluxo líquido de altos comprimentos de onda (*Cloud forcing net longwave flux*)

C Nuvens forçando o fluxo Solar (*Cloud forcing net Solar Flux*)

C Índice Convectivo de Precipitação (*Convective precipitation rate*)

C Fluxo descendente de altos comprimentos de onda para céu limpo (*Clear Sky Downward longwave flux*)

C Fluxo Solar descendente com céu limpo (*Clear Sky downward Solar Flux*)

C Fluxo Radiativo descendente de altos comprimentos de onda (*Downward Longwave Radiation Flux*)

C Fluxo Radiativo Solar Descendente (*Downward Solar Radiation Flux*)

C Fluxo Térmico do Solo (*Ground Heat Flux*)

C Fluxo líquido de Calor Latente (*Latent Heat Net Flux*)

C Feixe Ultra-Violeta da radiação Solar descendente (*Near IR beam downward solar flux*)

C Radiação Solar Descendente Ultra-Violeta Difusa (*Near IR diffuse downward solar flux*)

C Radiação Líquida de altos comprimentos de onda (*Net Longwave Radiation*)

C Radiação Líquida de baixos comprimentos de onda (*Net Shortwave Radiation*)

C Índice de Precipitação (*Precipitation Rate*)

C Fluxo líquido de Calor Sensível (*Sensible Heat Net Flux*)

B Fluxo de momento zonal (*Momentum flux (zonal)*)

C Tensão da onda de Gravidade Zonal (*Zonal Gravity Wave Stress*)

C Fluxo Radiativo Ascendente de elevado comprimento de onda (*Upward Longwave Radiation Flux*)

C Fluxo Radiativo Solar Ascendente (*Upward Solar Radiation Flux*)

C Fluxo Solar do feixe visível descendente (*Visible beam downward solar Flux*)

C Fluxo Solar Difuso Visível descendente (*Visible diffuse downward solar flux*)

C Fluxo de momento meridional (*Momentum Flux (Meridional)*)

C Tensão da onda de Gravidade Meridional (*Meridional Gravity Wave Stress*)

D Proporção terra-mar (*Land-sea mask*)

D.4. Outros fluxos (*Other fluxes*)

Para este *dataset*, os dados apresentam os seus valores para médias diárias e para médias de 6 em 6 horas, apresentando-se a correspondente classificação assim como os níveis a que se encontram disponibilizados:

- C Fluxo ascendente de altos comprimentos de onda num dia de céu limpo (*Clear Sky upward longwave flux*) – Disponível no topo nominal da atmosfera
- C Fluxo Solar ascendente num dia de céu limpo (*Clear Sky upward solar Flux*) – Topo nominal da atmosfera
- C Fluxo Radiativo Solar Descendente (*Downward Solar Radiation Flux*) – Topo nominal da atmosfera
- C Pressão na zona inferior das nuvens altas (*Pressure at high cloud bottom*) – Nível inferior das nuvens altas
- C Pressão no topo das nuvens altas (*Pressure at high cloud top*) – Nível superior das nuvens altas
- C Pressão na zona inferior das nuvens baixas (*Pressure at low cloud bottom*) – Nível inferior das nuvens baixas
- C Pressão na zona superior das nuvens baixas (*Pressure at low cloud top*) – Nível superior das nuvens baixas
- C Pressão na zona inferior das nuvens médias (*Pressure at middle cloud bottom*) – Nível inferior das nuvens médias
- C Pressão na zona superior das nuvens médias (*Pressure at middle cloud top*) – Nível superior das nuvens médias
- C Cobertura total das nuvens (*Total cloud cover*) – Valores para toda a atmosfera
- C Fluxo Radiativo Ascendente de elevado comprimento de onda (*Upward Longwave Radiation Flux*) – Topo nominal da atmosfera
- C Fluxo Radiativo Solar Ascendente (*Upward Solar Radiation Flux*) – Topo nominal da atmosfera

D.5. Tropopausa (*Tropopause*)

Este é o *dataset* mais pequeno, sendo todos os dados disponíveis para o nível da tropopausa, e estão disponíveis para valores instantâneos de 6 em 6 horas, valores diários e médias mensais:

- A Temperatura do Ar (*Air Temperature*)
- A Pressão (*Pressure*)

D.6. Coeficientes Espectrais (*Spectral Coefficients*)

Neste *dataset*, com excepção de duas variáveis, todas são disponibilizadas para 28 níveis sigma 0,995:

- B Divergente (*Divergence*)

- D Orografia (*Orography*)
- A Logaritmo Natural de Pressão (*Natural Log of Pressure*)
- B Humidade Específica (*Specific Humidity*)
- A Temperatura virtual do ar (*Virtual Air Temperature*)
- A Vorticidade Relativa (*Relative Vorticity*)

A exceção é a orografia e o logaritmo natural de pressão que são disponíveis para o nível de superfície. Todos eles são disponíveis para valores instantâneos de 6 em 6 horas, excepcionando o valor para a orografia que é constante, como era de esperar.

Anexo E – Sistemas de coordenadas

E.1. Datum Geodésico

A utilização de um elipsóide como superfície de referência, requer a definição da sua dimensão e da sua posição. O estabelecimento desses parâmetros consiste na definição de um *datum* geodésico (*datum* é o singular de *data*). Um elipsóide pode ser posicionado de forma a ajustar-se melhor a uma pequena zona do geóide ou a todo o geóide, tomando os respectivos *data* as designações de *datum* local e *datum* global. Por exemplo, o *datum* associado ao Sistema Global de Posicionamento, designado por WGS84 (*World Geodetic System* de 1984), é um *datum* global, definido em função de um sistema cartesiano tridimensional e visando um bom ajustamento global ao geóide.

Para posicionamento do elipsóide são necessários seis parâmetros, além de dois relativos à forma e dimensão do elipsóide. Consoante o tipo de parâmetros escolhidos, o *datum* designa-se por topocêntrico ou geocêntrico. Um *datum* geocêntrico é definido relativamente ao sistema terrestre médio por um vector de translação (X, Y, Z) e por três ângulos de rotação, tão pequenos quanto possível, para que os eixos permaneçam aproximadamente paralelos ao sistema terrestre médio. Um *datum* topocêntrico é definido por um sistema astronómico local no ponto de origem e um sistema fixo ao elipsóide, que constitui um sistema geodésico local no mesmo ponto. A definição de um sistema local é feita por atribuição de valores a cada um dos oito parâmetros, que não são relevantes para o desenvolvimento deste trabalho; apenas é de referir que a escolha destes parâmetros é, em geral, feita para que as coordenadas astronómicas e geodésicas do ponto de origem do *datum* sejam coincidentes. A irregularidade do campo gravítico e consequentemente do geóide, leva a que as coordenadas astronómicas e geodésicas dos restantes pontos não sejam idênticas. Um mesmo ponto terá, em geral, coordenadas geodésicas diferentes em *data* diferentes.

Um *datum* é definido com recurso a técnicas de posicionamento espacial, tanto astronómicas como baseadas em satélites artificiais.

A definição de um *datum* por métodos astronómicos requer a determinação de latitude, longitude e azimuth astronómico. No ponto onde é realizada a observação, a latitude e longitude astronómicas, reduzidas ao geóide, são consideradas coincidentes com a latitude e longitude geodésicas, colocando o elipsóide tangente ao geóide. O ajustamento do elipsóide ao geóide pode ser feito não só relativamente a um ponto, mas também a um conjunto de pontos dispostos segundo uma área ou segundo um meridiano.

As técnicas de posicionamento mais recentes conduziram a que a definição de *datum* se tenha tornado bastante mais complexa, envolvendo parâmetros de rotação da Terra e campo gravítico, associado ainda à época para a qual foram definidos.

E.2. Projecções Cartográficas

A representação plana de fenómenos distribuídos sobre a superfície terrestre, referenciados a um elipsóide por coordenadas geodésicas, requer a planificação de uma porção do elipsóide. Dado que o elipsóide não é uma superfície planificável, a sua representação plana só pode ser feita abdicando de algumas propriedades métricas da figura original. As funções de aplicação do elipsóide no plano designam-se por projecções cartográficas.

A generalidade das projecções recorre a uma superfície plana ou planificável (como por exemplo um cilindro ou um cone), posicionada de forma bem definida relativamente ao elipsóide.

O posicionamento relativo do elipsóide e do plano cartográfico é definido por intermédio de um ponto, situado preferencialmente no centro da região a cartografar, cuja projecção na esfera ou no elipsóide é designada por ponto central de projecção. O meridiano e o paralelo que contêm o ponto central, são designados por meridiano e paralelo centrais de projecção.

A superfície de projecção é posicionada relativamente ao elipsóide no ponto central, que virá a constituir a origem de um sistema de eixos coordenados bidimensional, podendo a superfície de projecção ser tangente ou secante ao elipsóide. O eixo das ordenadas (y) é geralmente colocado segundo a tangente ao meridiano (direcção Norte-Sul), enquanto o eixo das abcissas (x) é colocado segundo a direcção perpendicular (direcção Este-Oeste).

Quando as projecções cartográficas transformam o meridiano central no eixo das ordenadas, a direcção deste eixo no plano cartográfico é designada por norte cartográfico. Nesta situação, as abcissas são designadas por distâncias à projecção do meridiano central (*meridiana*), frequentemente simbolizadas por M , e as ordenadas são designadas por distâncias à perpendicular à *meridiana* e simbolizadas por P (nos textos e nas projecções cartográficas de língua inglesa as notações correspondentes são E (*Easting*) e N (*Northing*), respectivamente). O sistema de coordenadas obtido após a projecção poderá ser modificado por translação da origem ou rotação, não tendo estas operações efeito sobre as deformações decorrentes da projecção.

O conjunto formado pelo *datum* e pela projecção, com os parâmetros associados, designa-se por sistema de projecção cartográfica.

Na definição de uma projecção cartográfica procura-se minimizar as deformações introduzidas nos ângulos, distâncias e áreas. A conveniência em operar com deformações mínimas, justifica a aplicação de uma mesma projecção a porções reduzidas do elipsóide. Os aspectos da deformação saem do âmbito deste trabalho, pelo que não serão aqui apresentados.

E.3. Data geodésicos portugueses

Os *data* portugueses são astronómicos topocêntricos, isto é, baseiam-se em observações astronómicas e o elipsóide é posicionado em função de um ponto na zona abrangida pelo *datum*.

O *datum* geodésico mais antigo em Portugal data do século XIX, definido a partir de observações realizadas no observatório astronómico situado no Castelo de S. Jorge, em Lisboa. Este *datum* é conhecido por *datum* Lisboa. Em 1938, durante as obras de restauro do Castelo de S. Jorge, foi demolido o observatório astronómico e com ele a materialização do *datum* Lisboa. Mais recentemente foi posicionado em Melriça, no centro do país e próximo de Vila de Rei, um novo *datum* geodésico, conhecido por *datum* 73. O sistema de referência para as altitudes é distinto do utilizado para a latitude e longitude, sendo utilizado como referência, um conjunto de medições do nível das águas do mar realizados no marégrafo de Cascais.

O *datum* geodésico interveniente na cartografia nacional é o *datum* Europeu (ED50), utilizado no sistema UTM, com origem em Potsdam, na Alemanha.

A cartografia das regiões autónomas dos Açores e da Madeira é apoiada em vários *data* locais: *data* Ocidental, Central e Oriental (Açores) e *datum* Porto Santo (Madeira).

E.4. Sistema UTM

O sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*) corresponde a uma tentativa de harmonização global de um sistema de projecção cartográfica. Não sendo viável, na época em que foi introduzido, a utilização de um único *datum*, a harmonização limitou-se à utilização de uma fórmula e parâmetros de projecção semelhantes em todo o elipsóide. A projecção é aplicada individualmente em 60 zonas com uma amplitude de 6°, designadas por fusos, centradas nos meridianos:

$$177^\circ \text{ Oeste}, \dots, 3^\circ \text{ Oeste}, 3^\circ \text{ Este}, \dots, 177^\circ \text{ Este} \\ (\text{Fuso } 01), \dots, (\text{Fuso } 30), (\text{Fuso } 31), \dots, (\text{Fuso } 60)$$

A projecção é aplicada com um factor de escala $s = 0,9996$, com vista à diminuição das deformações produzidas pela projecção na extensão coberta por cada fuso. A projecção UTM é aplicada entre os paralelos de latitude 84° Norte e 80° Sul, sendo as zonas polares cobertas por sistemas de projecção com características diferentes.

A aplicação mais notória do sistema UTM em Portugal é a impressão de uma quadrícula sobre a cartografia da série M888 do IGeoE (Instituto Geográfico do Exército). Esta Série Cartográfica (M888) constitui a principal produção do IGeoE e é a única cobertura completa do território continental na escala 1/25 000. Compreende um total de 633 folhas. Apesar da escala, é uma carta extremamente rica em informação, pelo que tem sido até hoje usada como base para inúmeros projectos de natureza nacional e regional.

No território continental de Portugal, o sistema UTM é aplicado com o *datum* ED50 (*European datum* de 1950), definido em Potsdam.

O ponto central da projecção UTM em Portugal continental é definido pela intersecção do Equador com o meridiano à longitude 9° Oeste. A origem de coordenadas cartográficas obtém-se por uma translação de 500 km para Oeste do ponto central, de modo a tornar positivas as coordenadas de todos os pontos no interior do fuso (Fuso 29). O eixo dos xx é orientado positivamente de Oeste para Este e o eixo dos yy é orientado positivamente de Sul para Norte. No Hemisfério Sul, ao valor de y é adicionada uma constante de 10 000 km.

Nas regiões autónomas da Madeira (*datum* Porto Santo) e Açores (*data* Ocidental, Central e Oriental), o sistema UTM é o sistema de coordenadas principal. O caso da região autónoma dos Açores é um exemplo de um dos inconvenientes do sistema UTM, a separação das projecções por fusos artificiais, uma vez que as várias ilhas do arquipélago se distribuem por dois fusos. Um outro exemplo, que não de Portugal, é o de Timor Leste em que o território se divide pelos fusos 51 e 52, obrigando, caso fosse o sistema seguido, à impossibilidade de trabalhar com informação contínua no território.

O sistema de referência UTM introduz uma divisão do plano cartográfico associada a uma codificação alfanumérica, fundamentalmente de interesse militar, que utiliza tanto mais caracteres quanto mais pequena é a divisão a que se refere.

Os dois primeiros caracteres são numéricos, variam de 01 a 60, e indicam o número do fuso. O terceiro é uma letra que referencia uma zona do fuso compreendida entre dois paralelos. O território continental de Portugal situa-se nas zonas S e T do fuso 29, deste modo as zonas que lhe correspondem têm códigos iniciados por 29S e 29T. As ilhas dos Açores e da Madeira distribuem-se por três códigos: 25S (Flores e Corvo), 26S (Pico, Faial, S. Jorge, Graciosa, Terceira, S. Miguel e Sta. Maria) e 28S (Madeira e Porto Santo).

O quarto e quinto caracteres são letras que codificam quadrados com lados de 100 km. O quadrado de 100 km de lado que contém Lisboa tem a codificação 29SMC, o quadrado que está a Norte é o quadrado 29SMD, o quadrado a Leste é o 29SND. O código 29SMC13 indica um quadrado de 10 km de lado, com origem distando 10 km em x e de 30 km em y , relativamente à origem do quadrado 29SMC. O código 29SMC1537 indica um quadrado de 1 km, posicionado relativamente à origem do quadrado de 10 km seguindo a mesma lógica do caso anterior [25] [26] [27].

Anexo F – Sensor ETM+

O sensor ETM+ ia a bordo do satélite *Landsat 7* e foi através dele, que se obteve a informação necessária para a realização do projecto CLC2000. O sensor é constituído por 8 bandas com diferentes níveis de resolução espacial, que são apresentados na Tabela 17 assim como a sua largura de banda e o seu uso principal.

Tabela 17: Bandas espectrais e respectivas áreas de estudo

Banda	Largura de Banda (μm)	Uso Principal
1	0,45 – 0,52	Cartografia de águas costeiras, solo e vegetação
2	0,53 – 0,61	Avaliação do vigor da vegetação
3	0,63 – 0,69	Diferenciação dos tipos de vegetação
4	0,78 – 0,90	Rastreamento da biomassa e delineação de corpos de água
5	1,55 – 1,75	Medição da humidade (solo e vegetação)/Distinção entre neve e nuvens
6	10,40 – 12,50	Temperatura/Humidade do solo
7	2,09 – 2,35	Cartografia hidrotérmica
8	0,52 – 0,90	Estudo de alterações nas áreas urbanas/Cartografia de áreas de grande dimensão

Devido ao seu elevado pormenor, este sistema teve um sistema de classificação próprio, com 44 classes sendo cada uma delas, organizada hierarquicamente em 3 níveis (Tabela 18) [18].

Tabela 18: Classificação e classes do CLC2000

Nível 1	Nível 2	Nível 3
1. Territórios artificializados	1.1. Zonas com dominância de habitação	1.1.1. Tecido urbano contínuo
		1.1.2. Tecido urbano descontínuo
	1.2. Zonas com revestimento dominante artificializado	1.2.1. Espaços de actividade industriais, comerciais e equipamentos gerais
		1.2.2. Infra-estruturas da rede de auto-estradas e rede ferroviária
		1.2.3. Zonas Portuárias

		1.2.4. Aeroportos
	1.3. Zonas alteradas artificialmente, sem vegetação	1.3.1. Pedreiras, zonas de extracção de areia, minas a céu aberto
		1.3.2. Descargas industriais, zonas de espalhamento de lixo
		1.3.3. Estaleiros
	1.4. Zonas verdes ordenadas	1.4.1. Espaços verdes urbanos
		1.4.2. Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação de tempos livres
2. Área com ocupação agrícola	2.1 Áreas agrícolas com culturas anuais	2.1.1. Perímetros não irrigados
		2.1.2. Perímetros regados
		2.1.3. Arrozaes
	2.2. Culturas permanentes	2.2.1. Vinhas
		2.2.2. Pomares
		2.2.3. Olivais
	2.3. Pastagens	2.3.1. Pastagens
	2.4. Zonas Agrícolas heterogéneas	2.4.1. Culturas anuais associadas às culturas permanentes
		2.4.2. Sistemas culturais e parcelares complexos
		2.4.3. Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais
		2.4.4. Territórios agro-florestais
3. Florestas e meios semi-naturais	3.1. Florestas	3.1.1. Folhosas
		3.1.2. Resinosas
		3.1.3. Floresta com mistura de várias espécies
	3.2. Zonas com vegetação arbustiva ou herbácea	3.2.1. Pastagens pobres, trilhos
		3.2.2. Matos
		3.2.3. Vegetação esclerofítica
		3.2.4. Espaços florestais degradados
	3.3. Zonas descobertas sem ou com pouca vegetação	3.3.1. Praias, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
		3.3.2. Rochas nuas
		3.3.3. Estepes sub-desérticas
		3.3.4. Zonas incendiadas recentemente
		3.3.5. Neves eternas e glaciares

4. Meios aquáticos	4.1. Zonas húmidas continentais	4.1.1. Zonas apaúladas
		4.1.2. Turfeiras
	4.2. Zonas húmidas marítimas	4.2.1. Sapais
		4.2.2. Salinas
		4.2.3. Zonas intertidais
5. Superfícies com água	5.1. Zonas de água doce	5.1.1. Linhas de água
		5.1.2. Planos de água, lagos
	5.2. Zonas de água salgada	5.2.1. Lagunas e cordões litorais
		5.2.2. Estuários
		5.2.3. Mar e oceano

Anexo G – Projecto CLC2000 para a Europa e Portugal continental

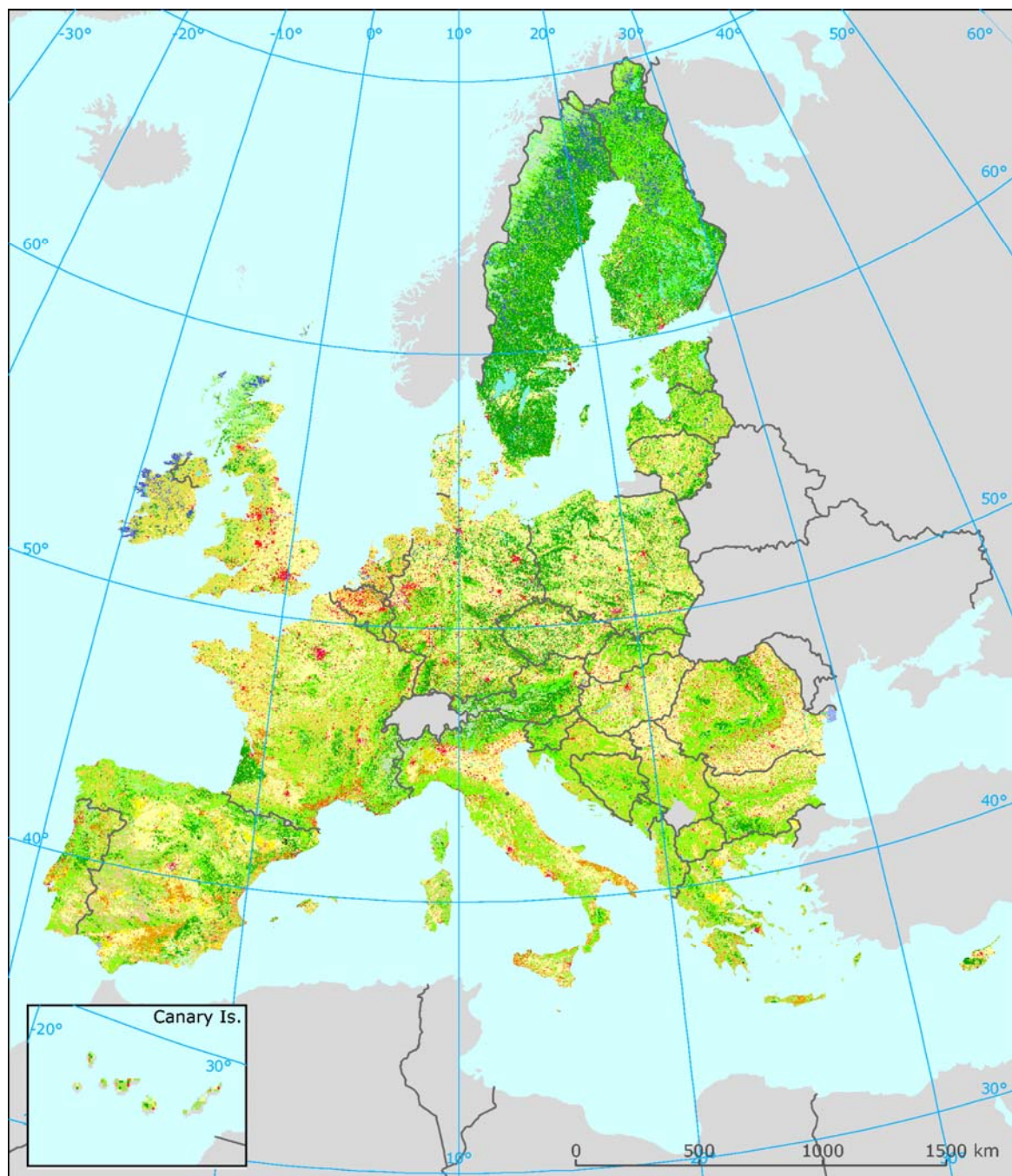


Figura 129: Mapa do projecto CLC2000 para os países da Europa por ele abrangido.
<http://terrestrial.eionet.europa.eu/>

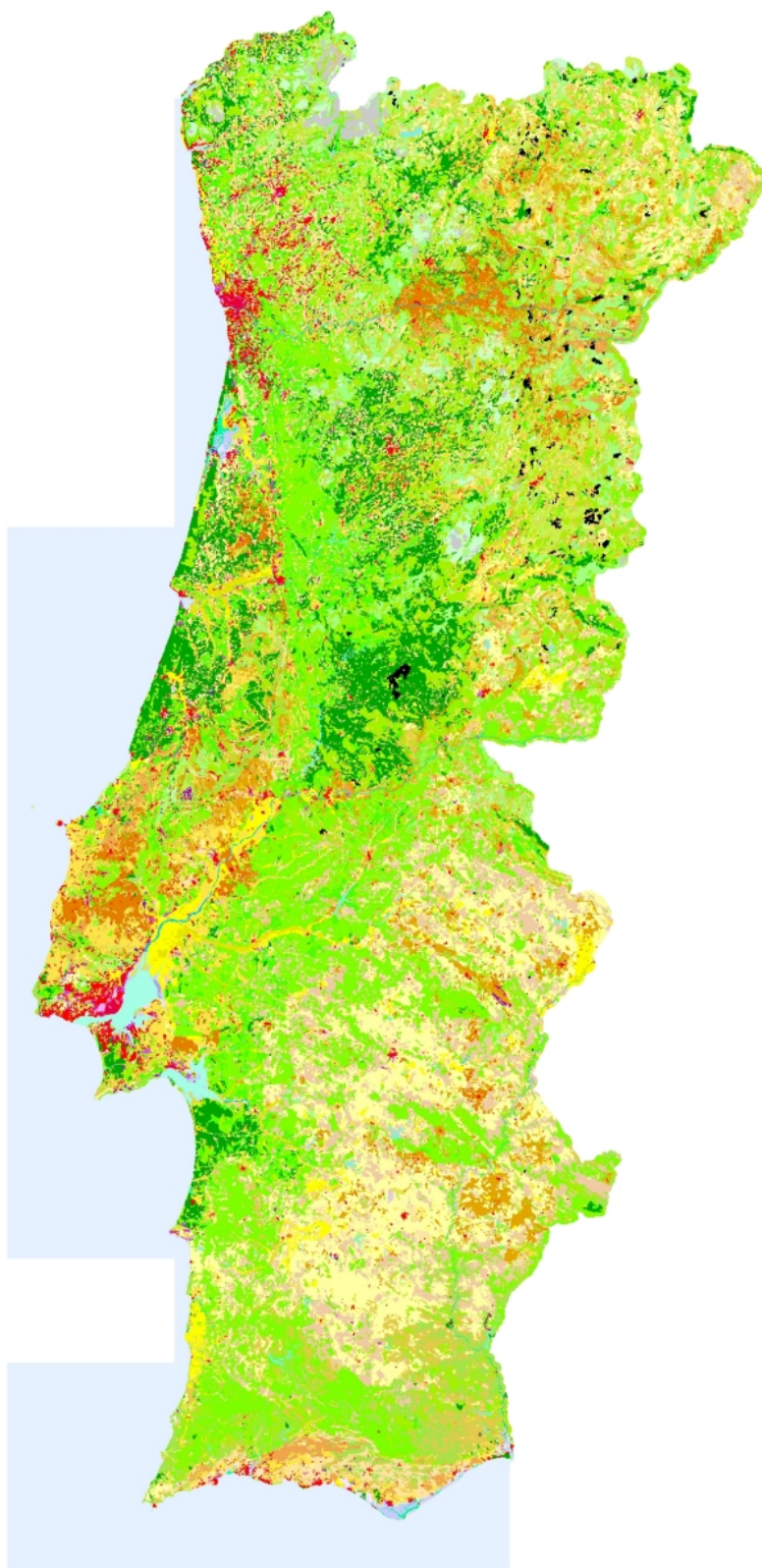


Figura 130: Mapa do Projecto CLC2000 para Portugal continental. <http://terrestrial.eionet.europa.eu/>



Figura 131: Legenda para as duas figuras anteriores que está de acordo com a Tabela 18.
<http://terrestrial.eionet.europa.eu/>

Anexo H – Variação adimensional dos 17 níveis de pressão

Nos 15 gráficos que são mostrados neste anexo, são mostradas as variações adimensionais de cada um dos níveis de pressão e comparadas com os seguintes. Verifica-se que à medida que se vai subindo na atmosfera, esta variação é cada vez menos significativa. Os dois primeiros gráficos estão apresentados na Secção 7.2 (Gráfico 2 e Gráfico 3), logo não estão aqui representados. Verifica-se que a partir dos 600 hPa de pressão, a variação adimensional começa a ser praticamente constante para todos os níveis.

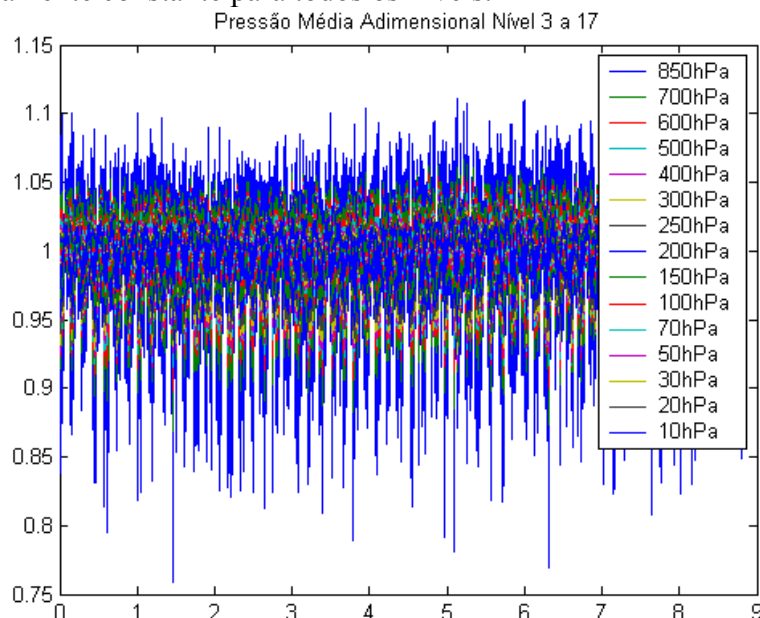


Gráfico 5: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 850 hPa até ao de 10 hPa

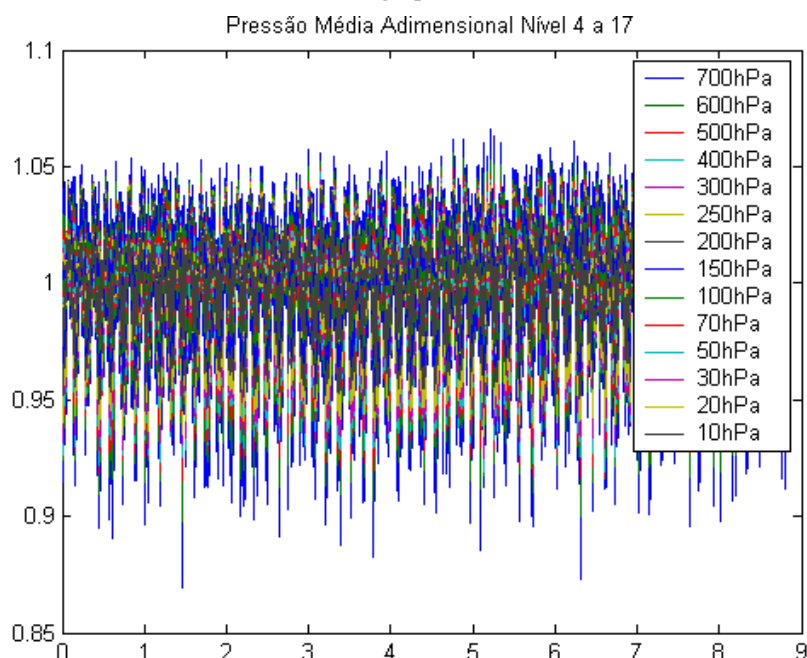


Gráfico 6: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 700 hPa até ao de 10 hPa

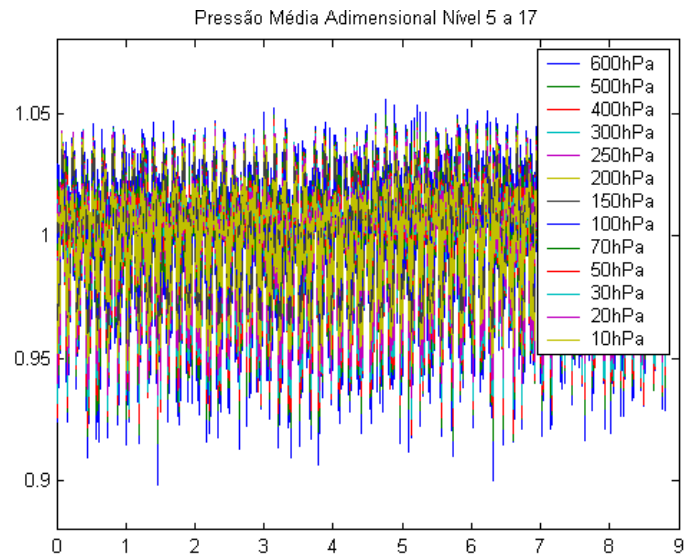


Gráfico 7: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 600 hPa até ao de 10 hPa

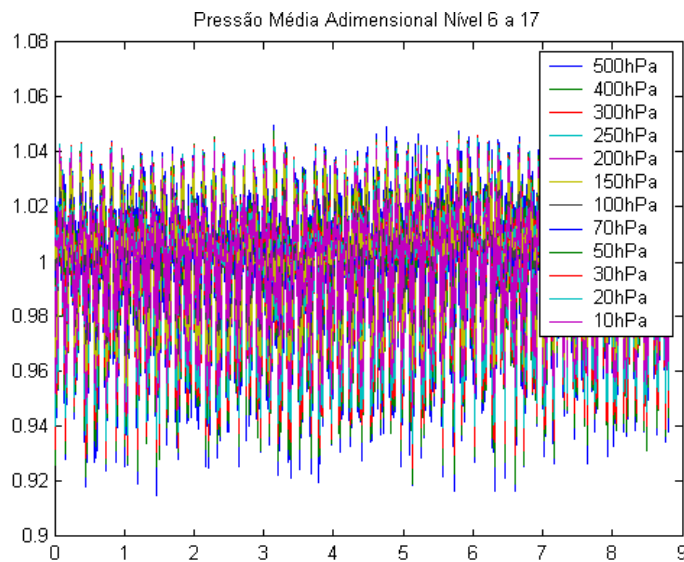


Gráfico 8: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 500 hPa até ao de 10 hPa

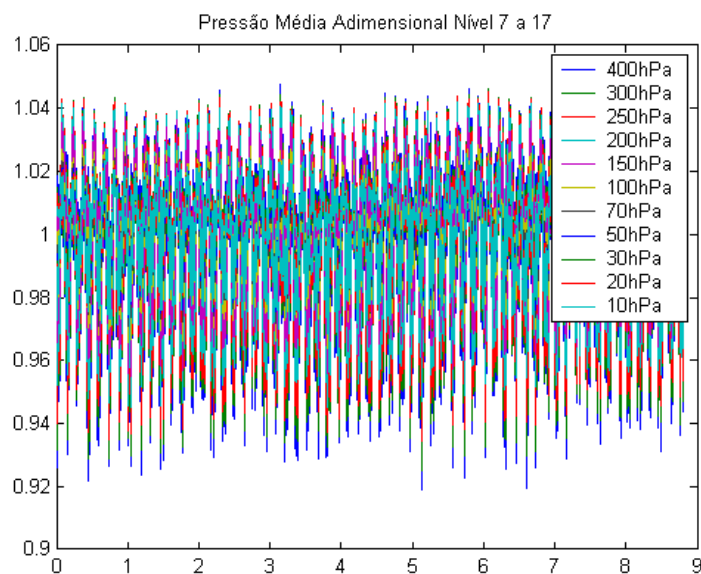


Gráfico 9: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 400 hPa até ao de 10 hPa

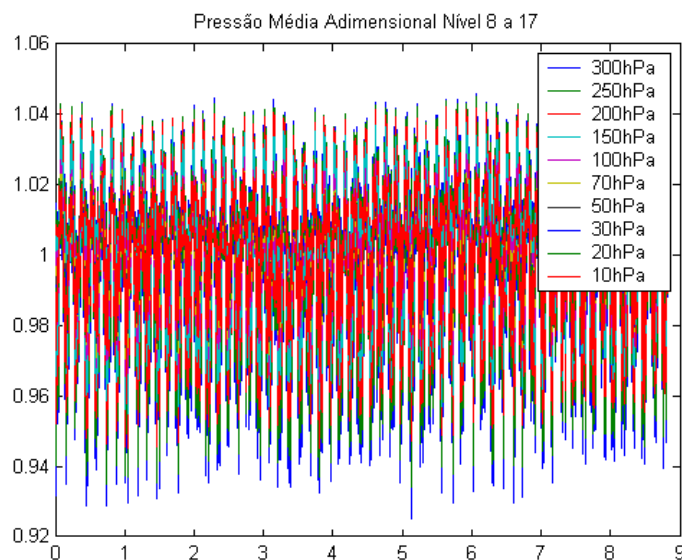


Gráfico 10: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 300 hPa até ao de 10 hPa

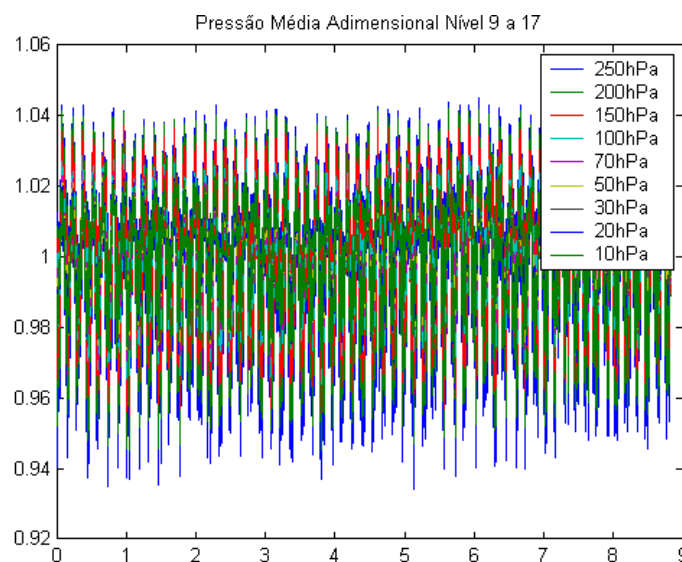


Gráfico 11: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 250 hPa até ao de 10 hPa

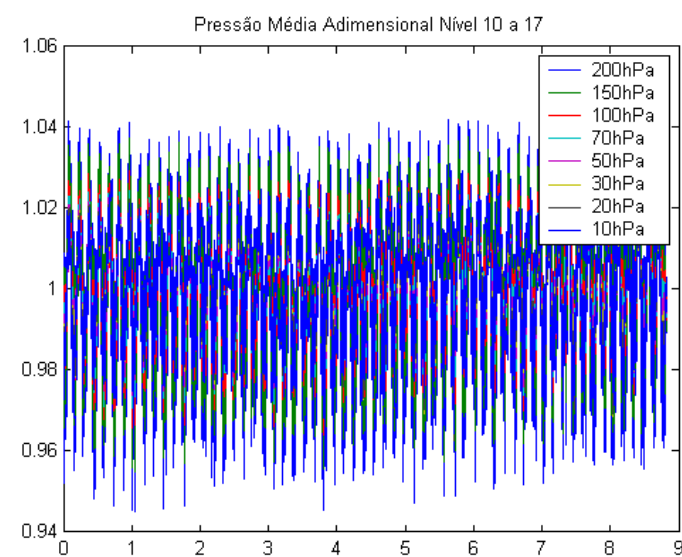


Gráfico 12: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 200 hPa até ao de 10 hPa

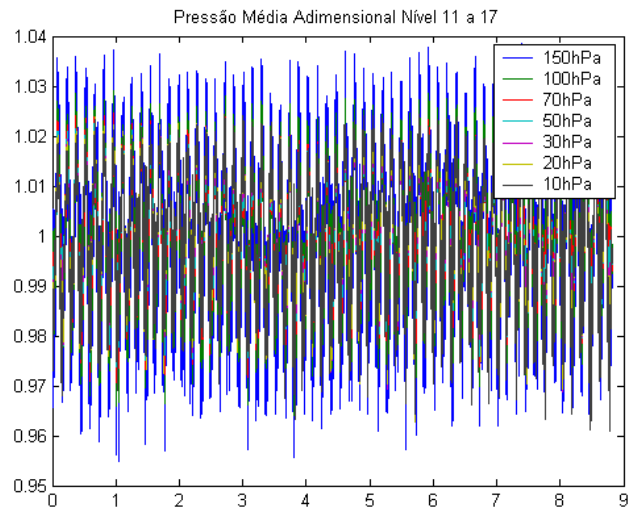


Gráfico 13: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 150 hPa até ao de 10 hPa

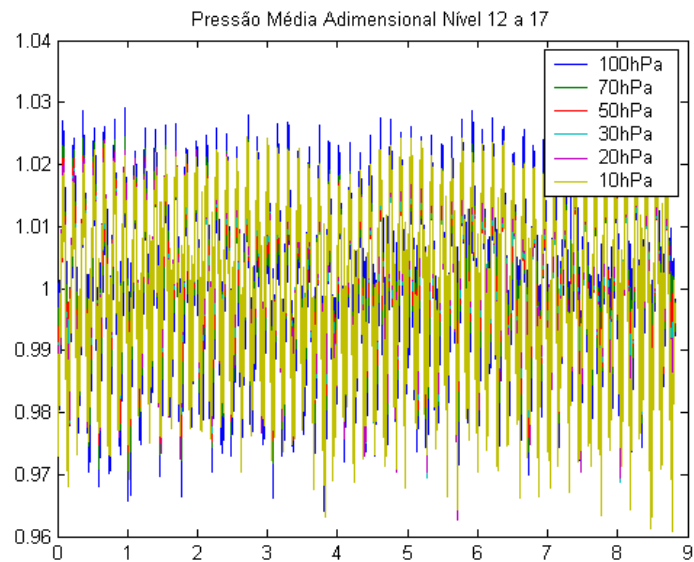


Gráfico 14: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 100 hPa até ao de 10 hPa

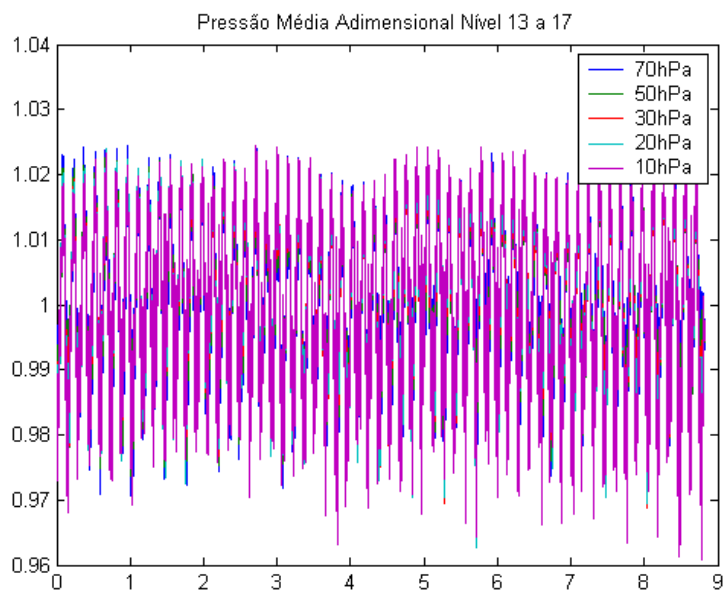


Gráfico 15: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 70 hPa até ao de 10 hPa

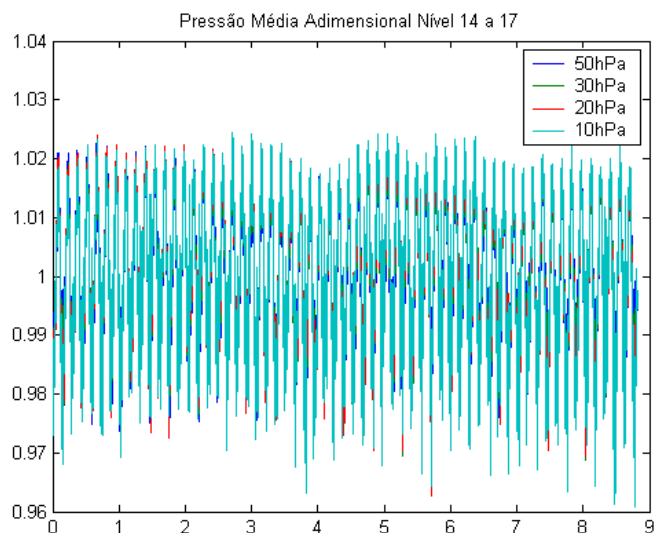


Gráfico 16: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 50 hPa até ao de 10 hPa

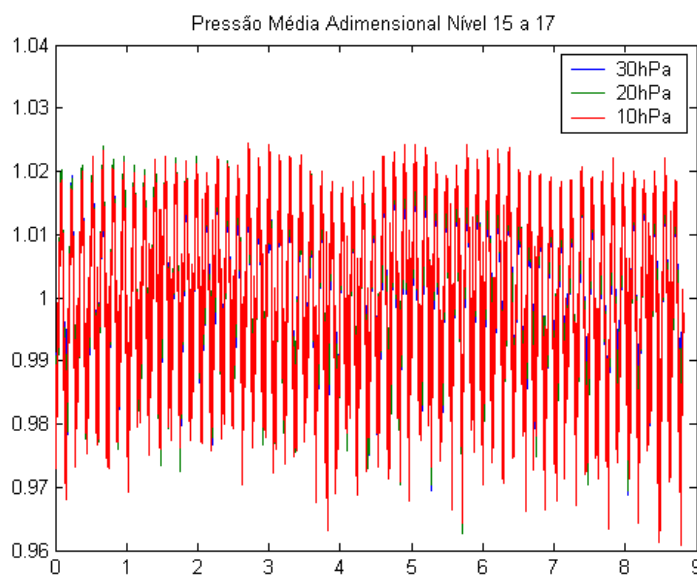


Gráfico 17: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 30 hPa até ao de 10 hPa

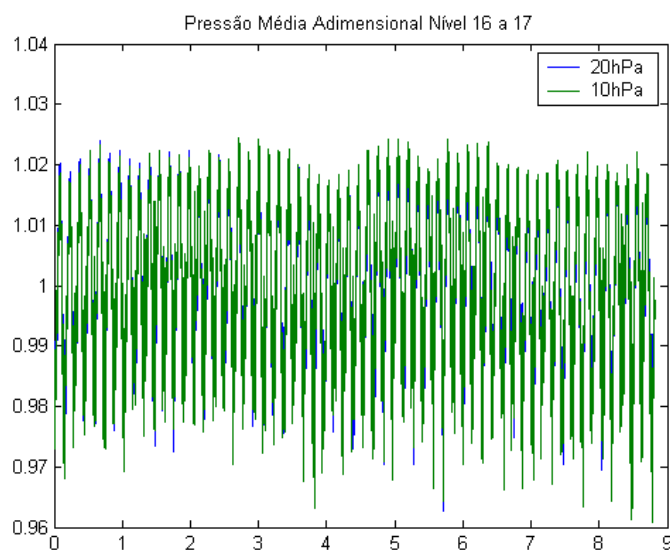


Gráfico 18: Variação média adimensional da altura do geopotencial desde o nível de 20 hPa até ao de 10 hPa

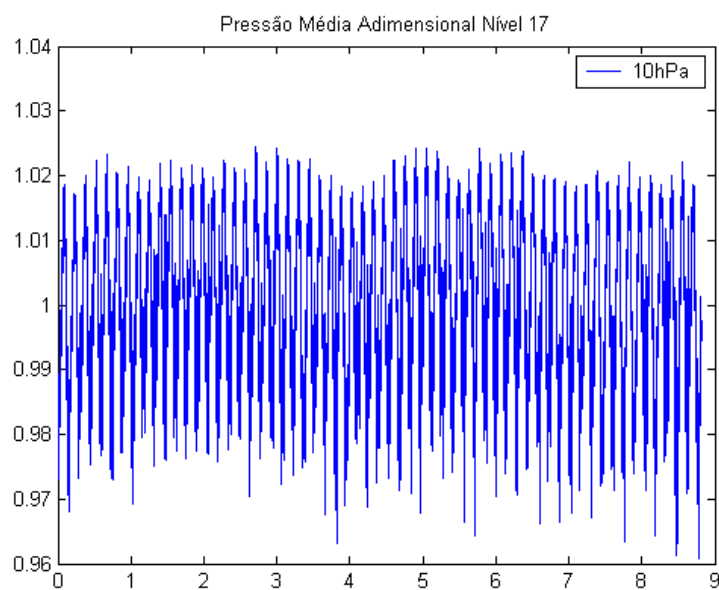


Gráfico 19: Variação média adimensional da altura do geopotencial para o nível de 10 hPa

Anexo I – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de pressão para a grelha do ponto do Açor

I.1. Previsões da Velocidade média

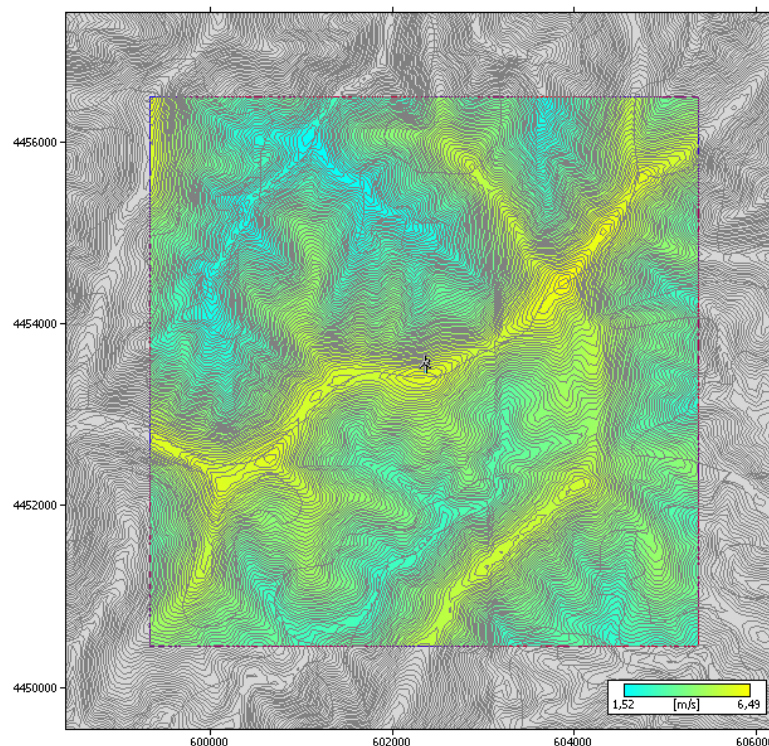


Figura 132: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 925 hPa

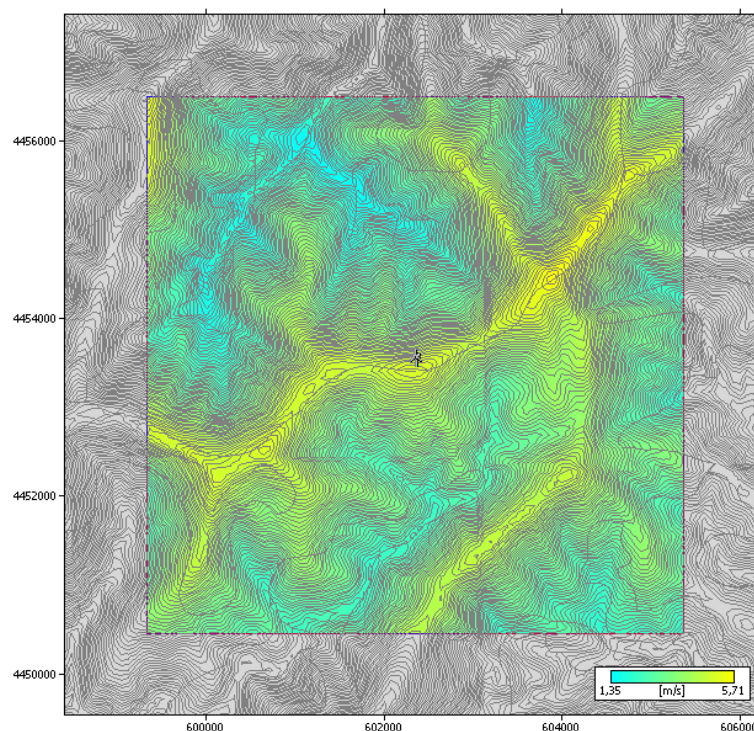


Figura 133: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 850 hPa

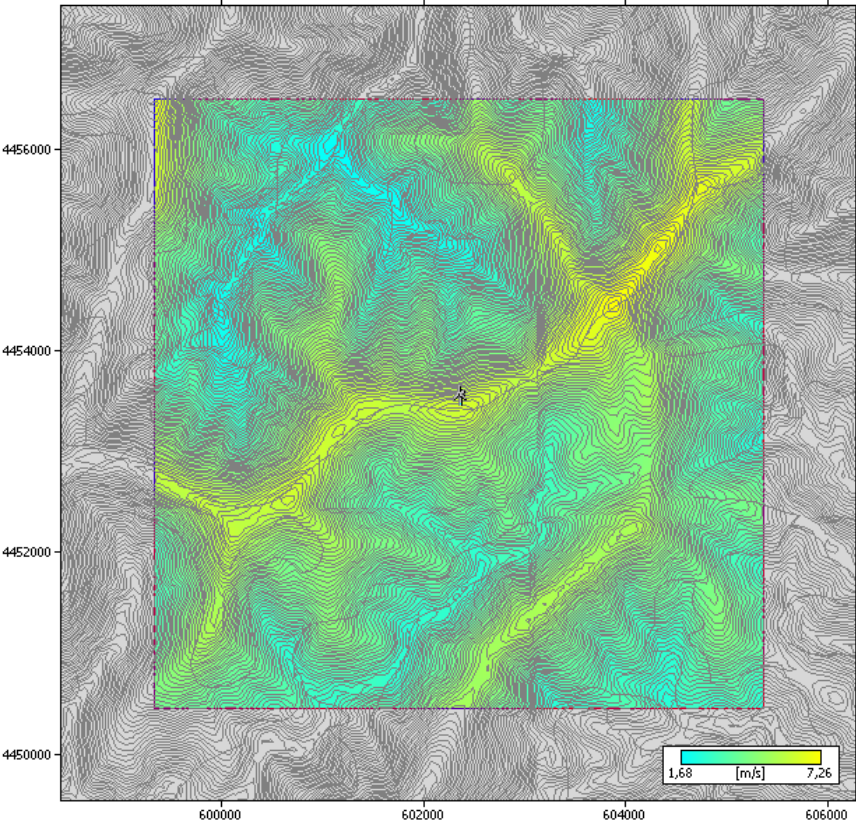


Figura 134: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 700 hPa

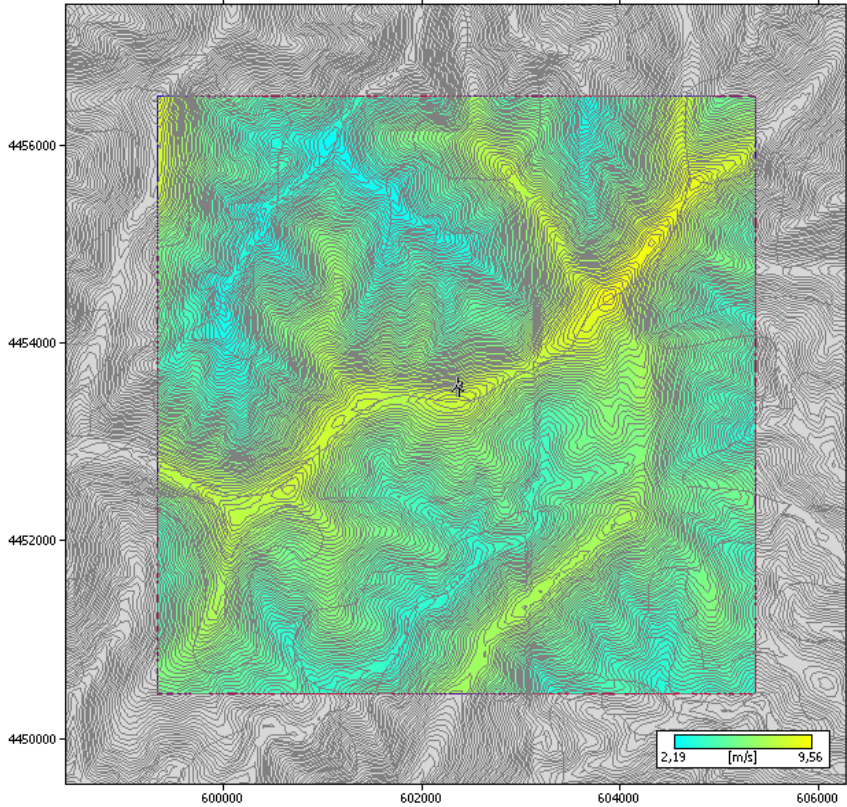


Figura 135: Distribuição da velocidade prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 600 hPa

I.2. Previsões da Densidade de Potência

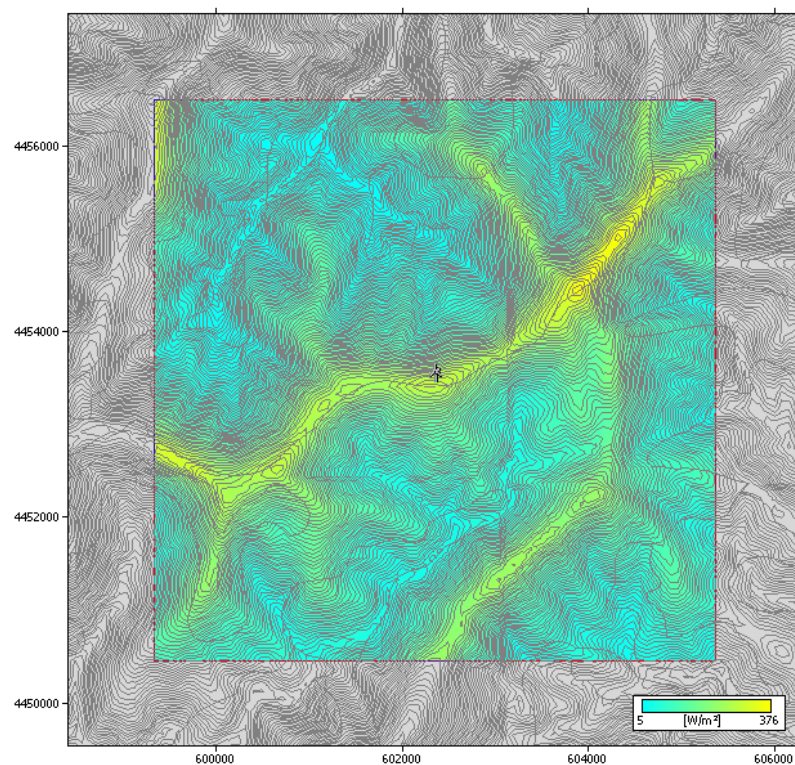


Figura 136: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 925 hPa

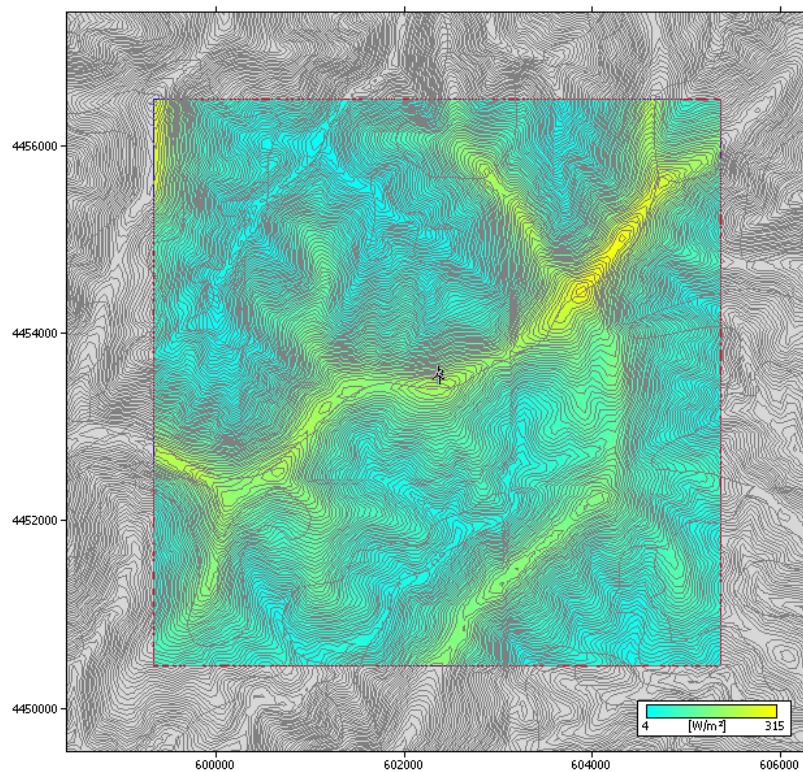


Figura 137: Distribuição da densidade da potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 850 hPa

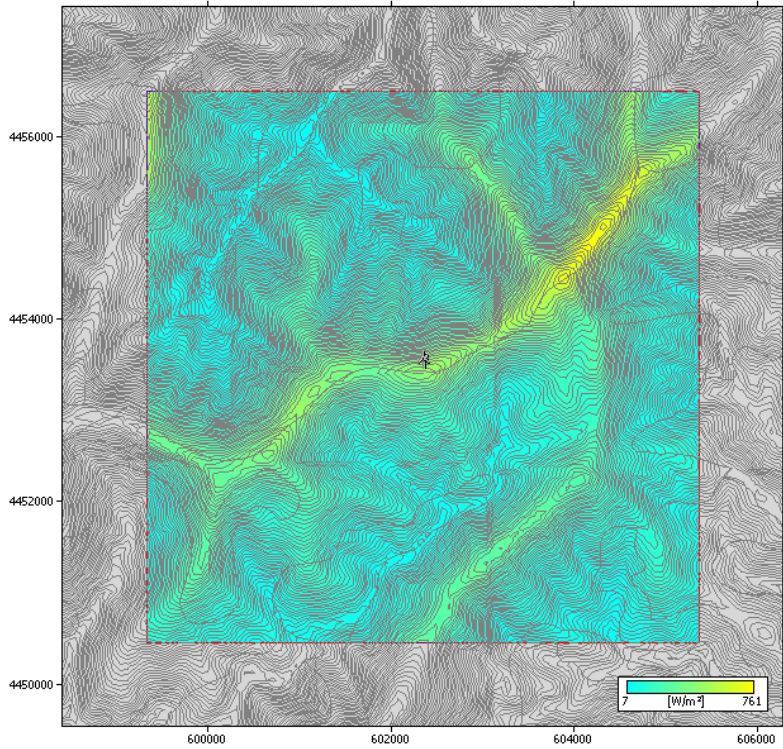


Figura 138: Distribuição da densidade da potência prevista para a grade de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 700 hPa

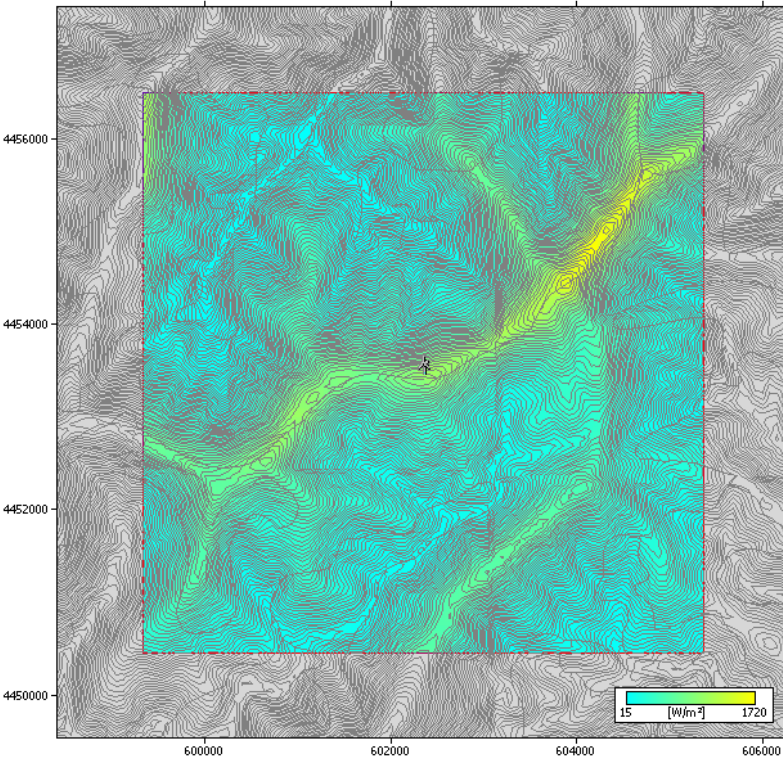


Figura 139: Distribuição da densidade da potência prevista para a grade de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos aos 600 hPa

Anexo J – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de nível sigma 0,995 para a grelha do ponto do Açor

J.1. Previsões da velocidade média

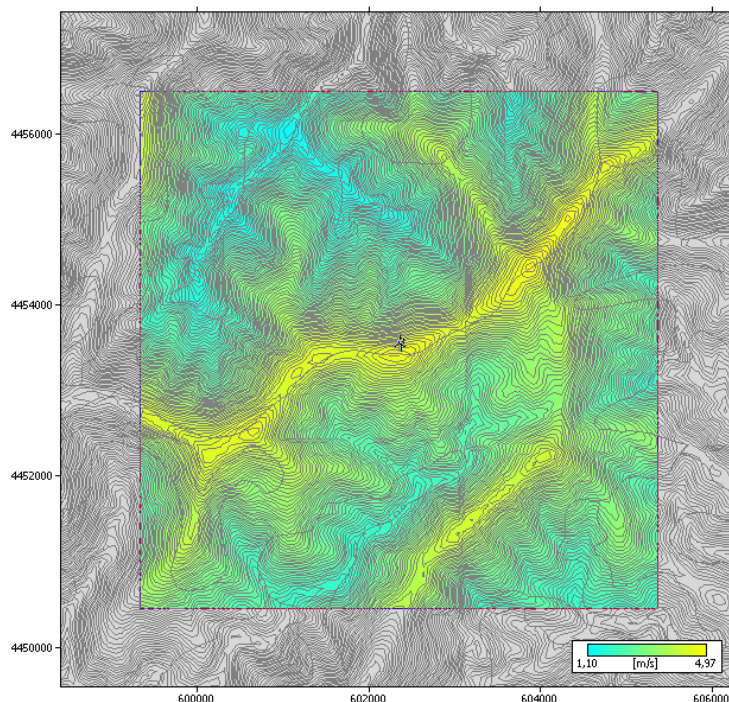


Figura 140: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos para o nível sigma 0,995

J.2. Previsões da densidade de potência

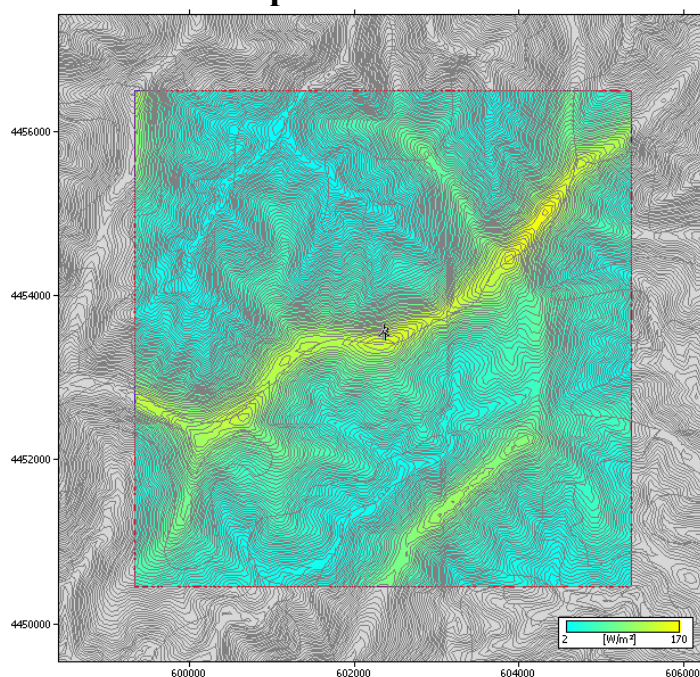


Figura 141: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo do Açor a partir dos dados obtidos para o nível sigma 0,995

Anexo K – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de pressão para a grelha do Ponto de S. Pedro de Portel

K.1. Previsões da Velocidade Média

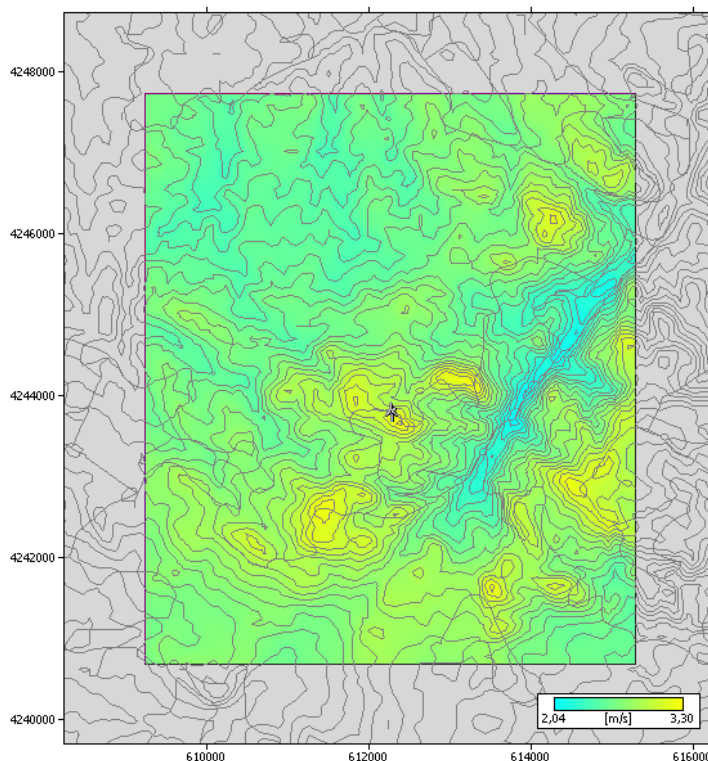


Figura 142: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 925 hPa

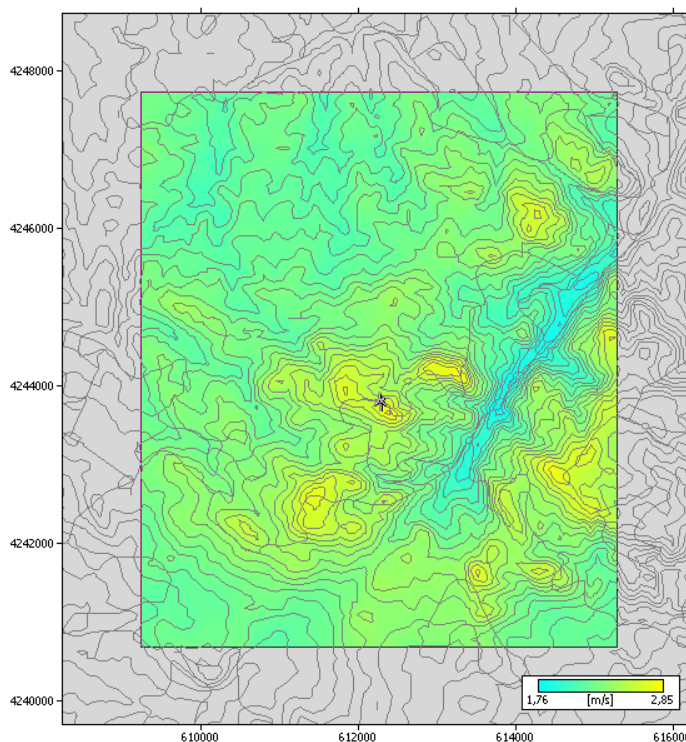


Figura 143: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 850 hPa

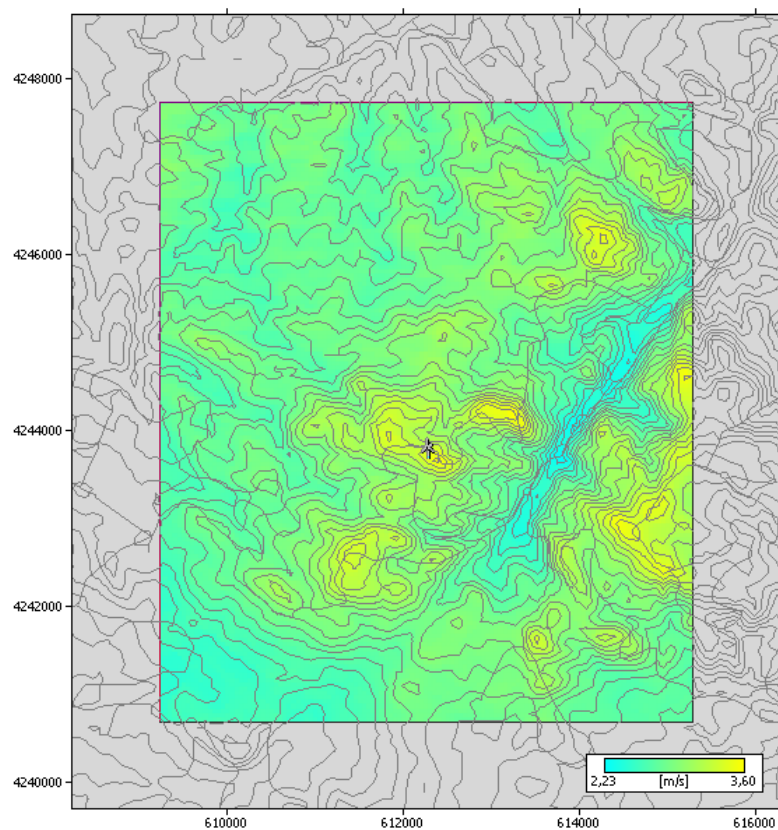


Figura 144: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 700 hPa

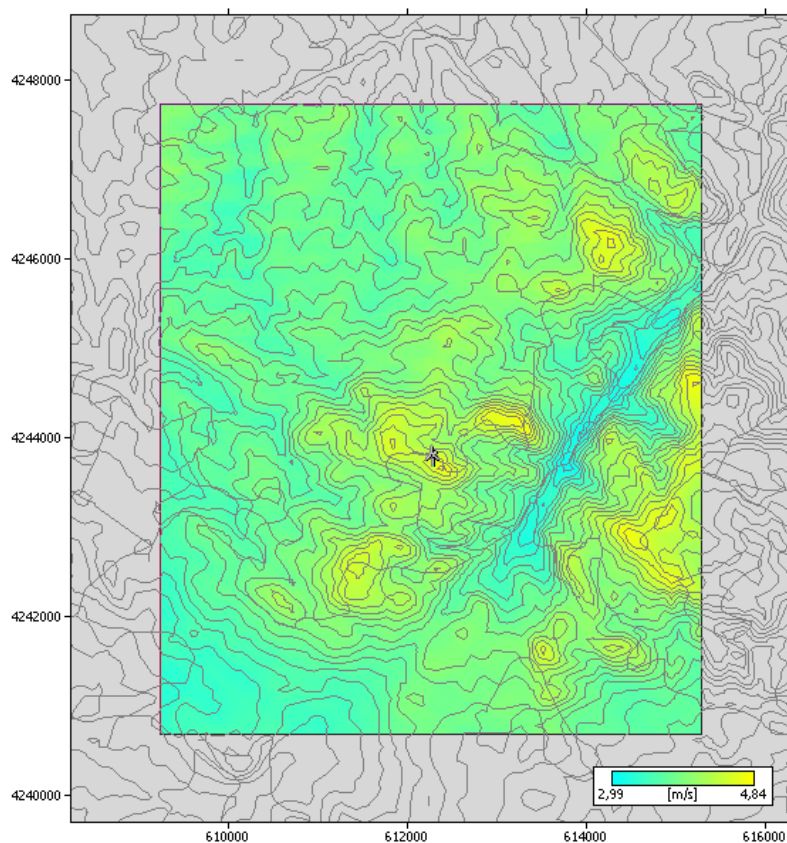


Figura 145: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 600 hPa

K.2. Previsões da Densidade de Potência

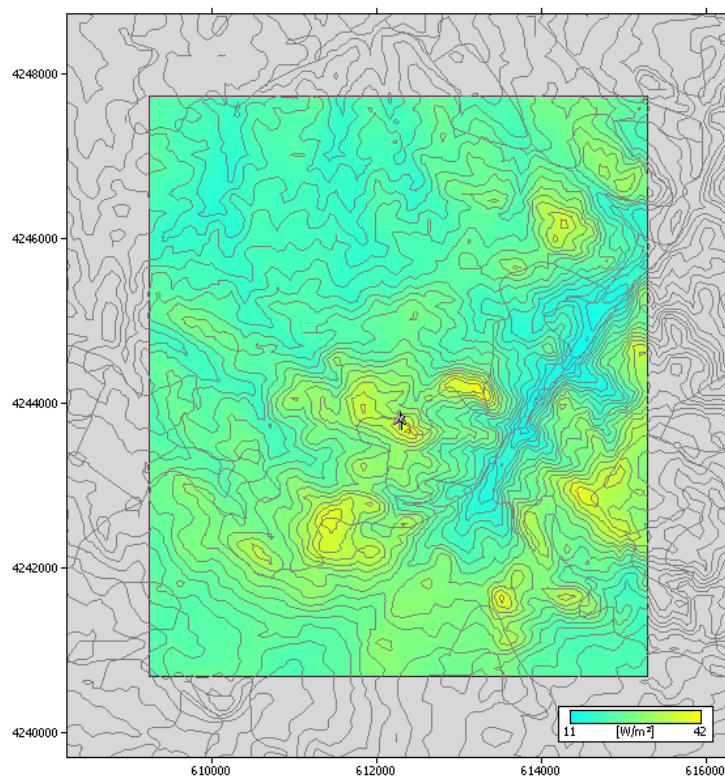


Figura 146: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 925 hPa

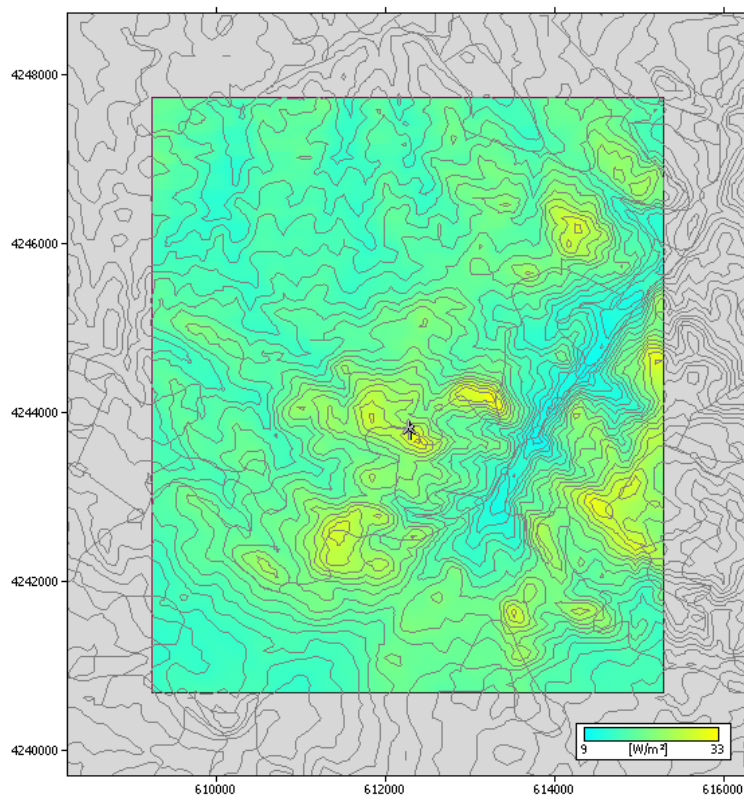


Figura 147: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 850 hPa

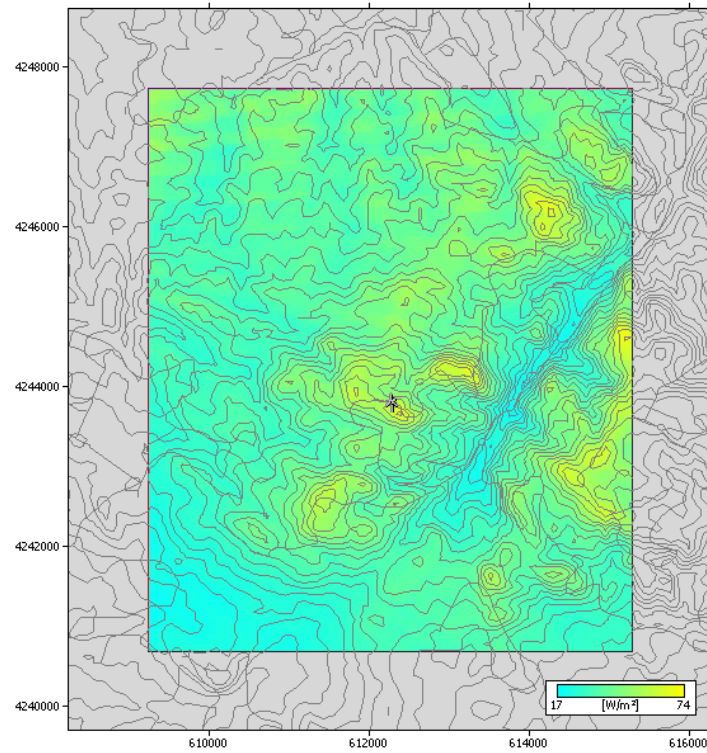


Figura 148: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 700 hPa

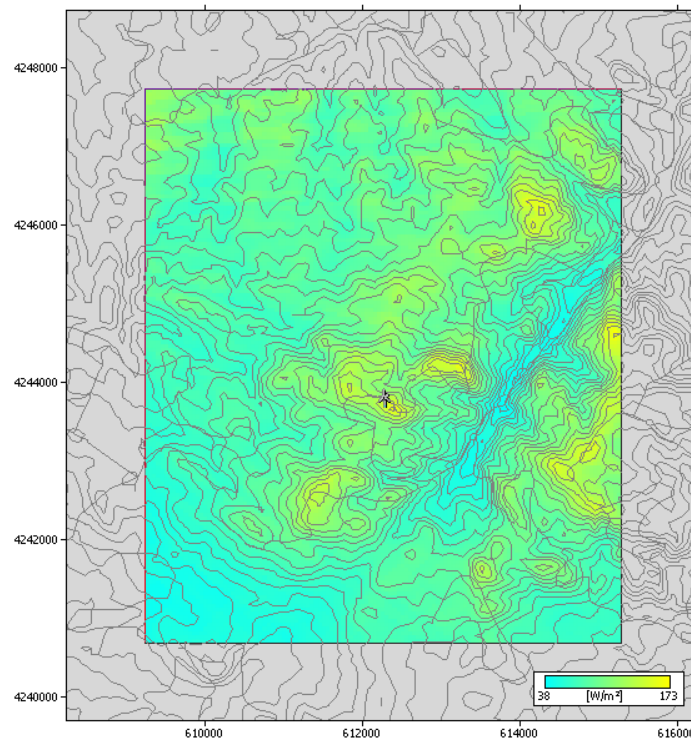


Figura 149: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados obtidos aos 600 hPa

Anexo L – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir dos pontos de nível sigma 0,995 para a grelha do ponto de S. Pedro de Portel

L.1. Previsões da Velocidade Média

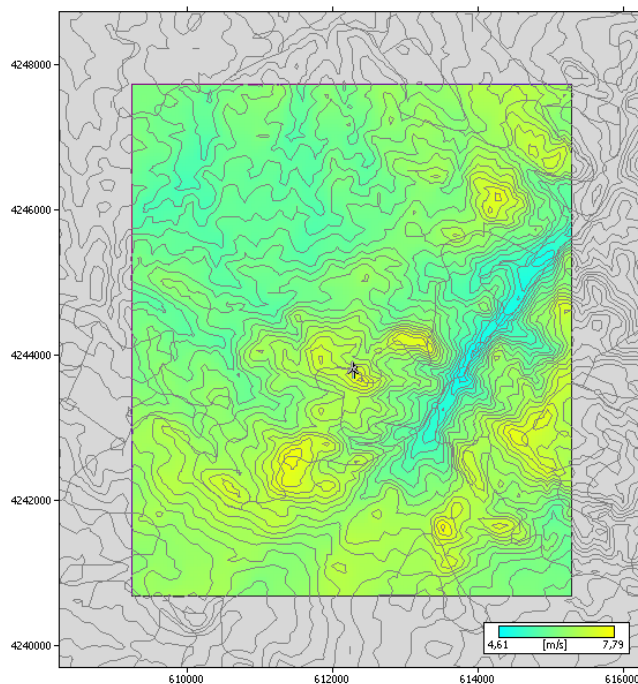


Figura 150: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados do nível sigma 0,995

L.2. Previsões da densidade de potência

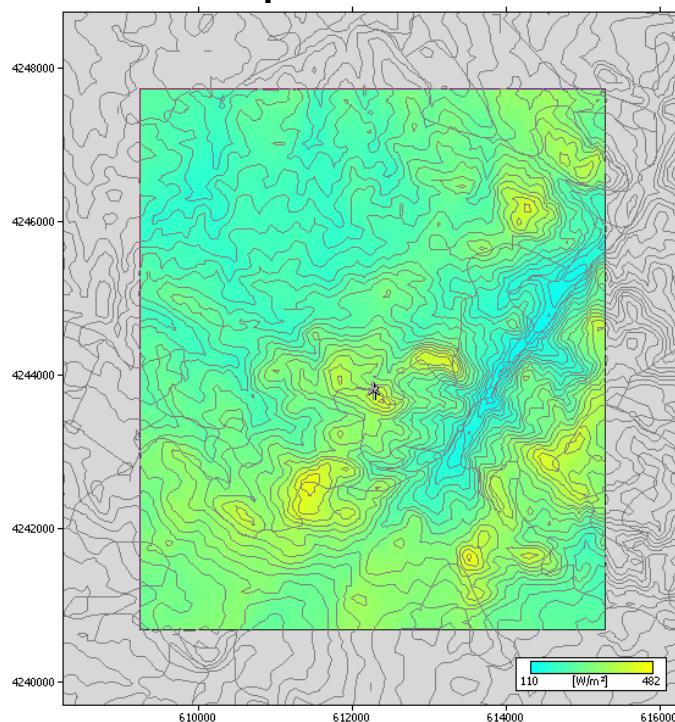


Figura 151: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados do nível sigma 0,995

Anexo M – Previsões obtidas da velocidade média e da potência a partir do ponto de nível de 10 metros acima do nível do solo para a grelha do ponto de S. Pedro de Portel

M.1. Previsões da velocidade média

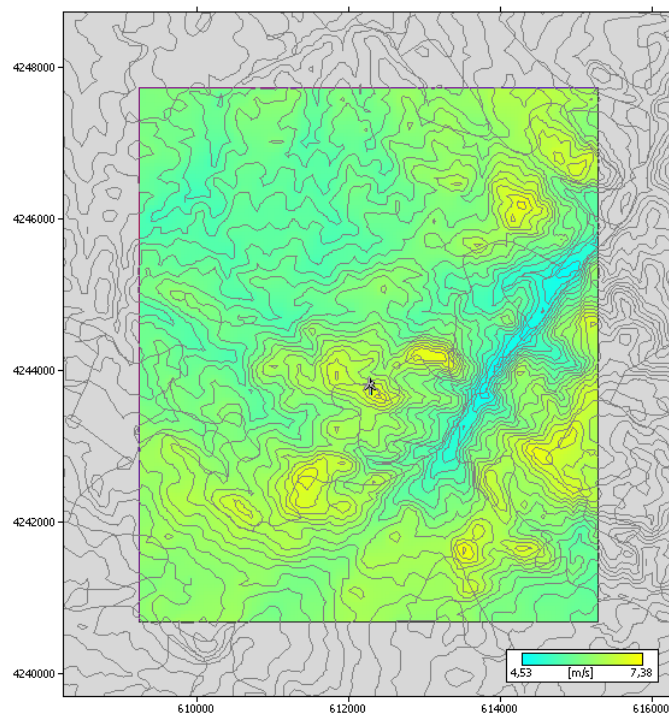


Figura 152: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 10 metros acima do solo

M.2. Previsões da Densidade de Potência

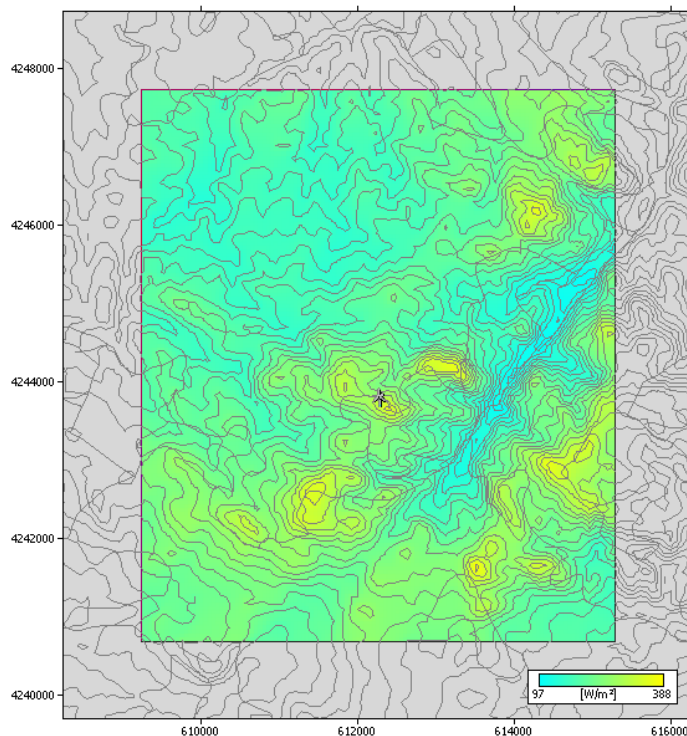


Figura 153: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno do ponto em estudo de S. Pedro de Portel a partir dos dados para os 10 metros acima do solo

Anexo N – Grelhas obtidas a partir de dados de vento locais e de previsões cruzadas da velocidade média e da potência para as Estações de Medição PORT284 e PORT233

N.1. Previsões da Velocidade Média

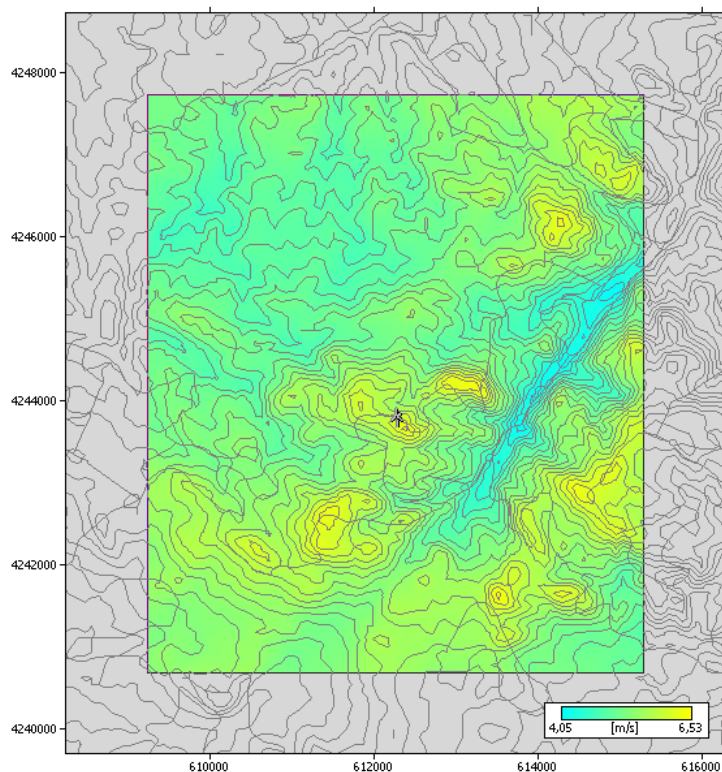


Figura 154: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados de ventos medidos localmente

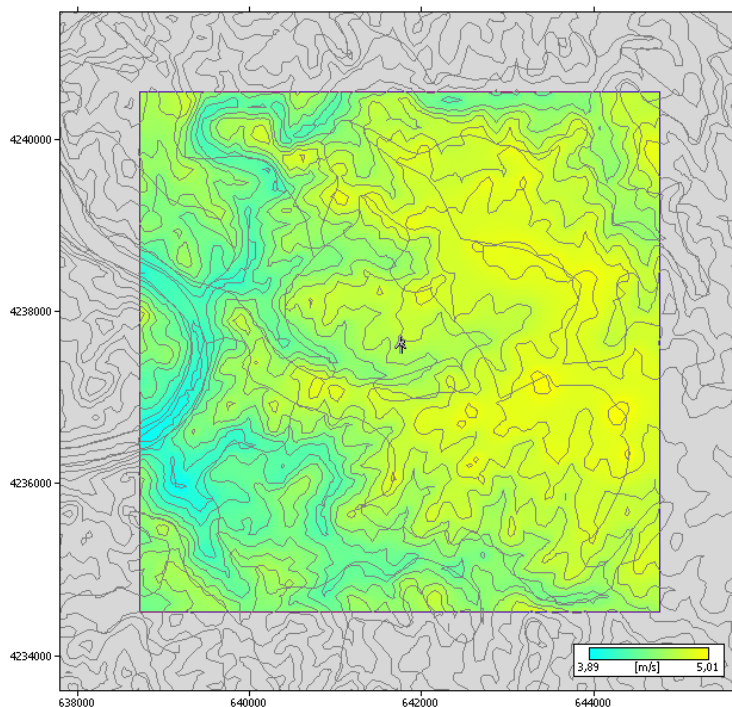


Figura 155: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados de ventos medidos localmente

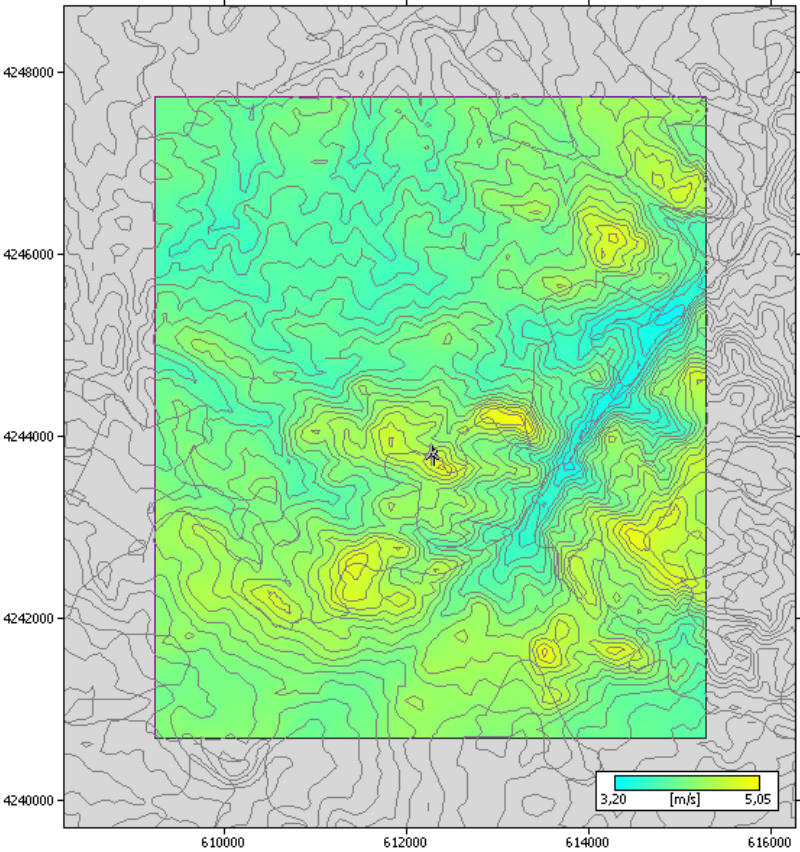


Figura 156: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT233

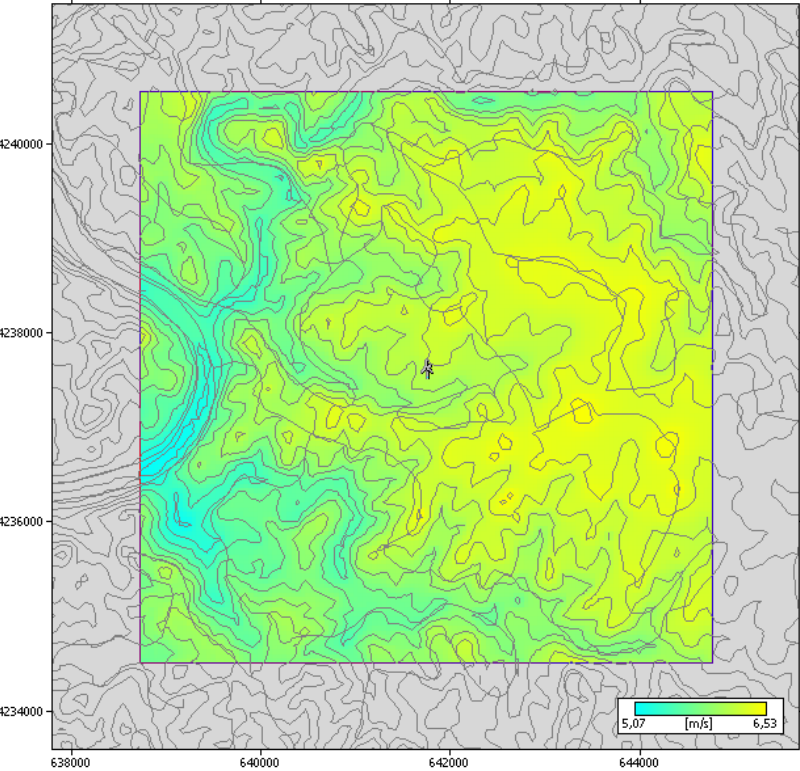


Figura 157: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT233 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT284

N.1. Previsões da Densidade de Potência

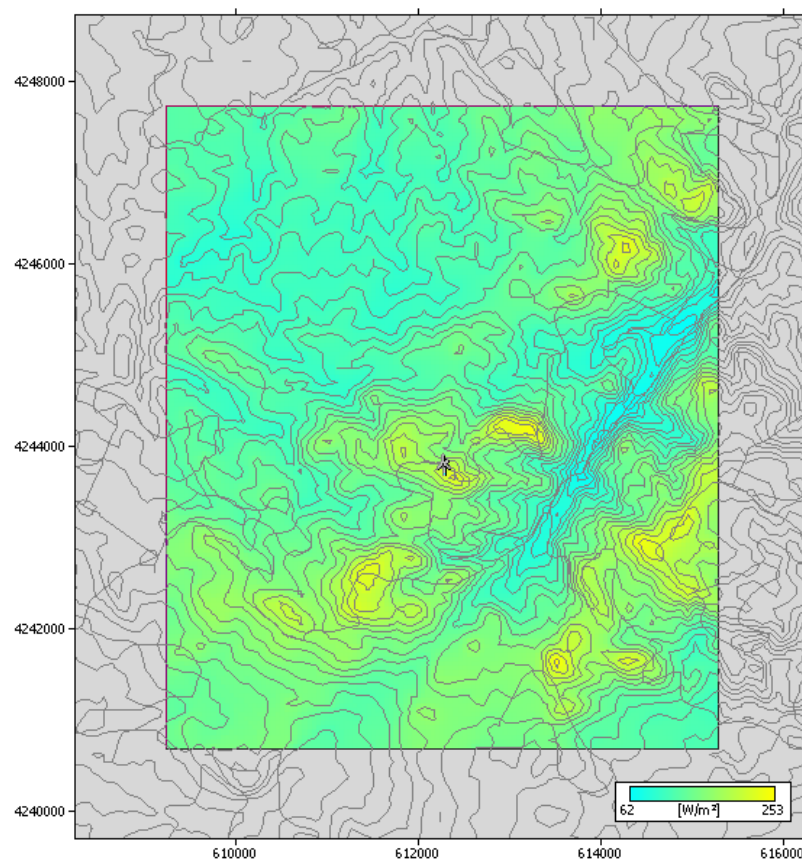


Figura 158: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir dos dados de ventos medidos localmente

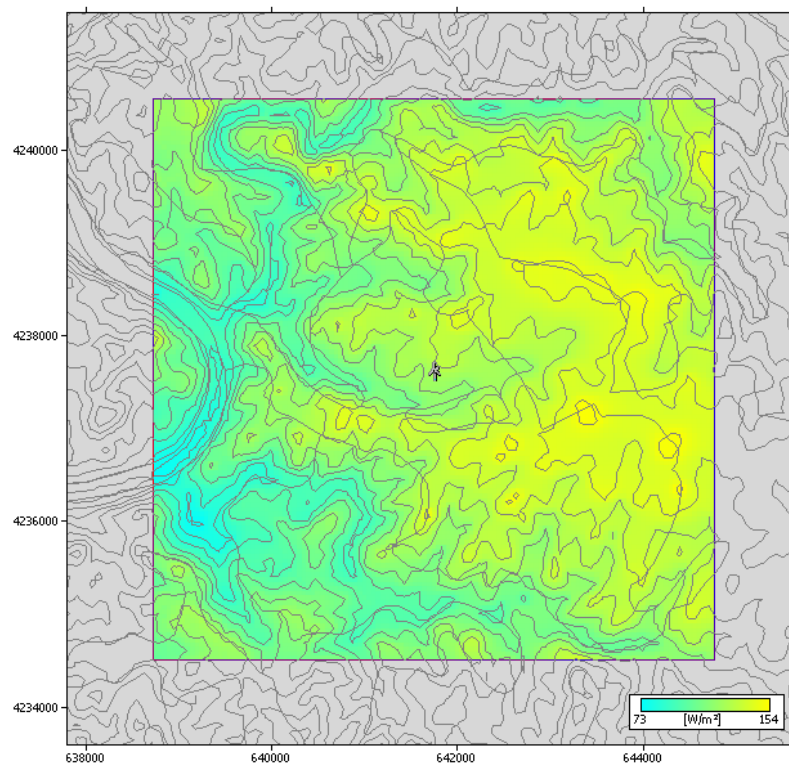


Figura 159: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT233 a partir dos dados de ventos medidos localmente

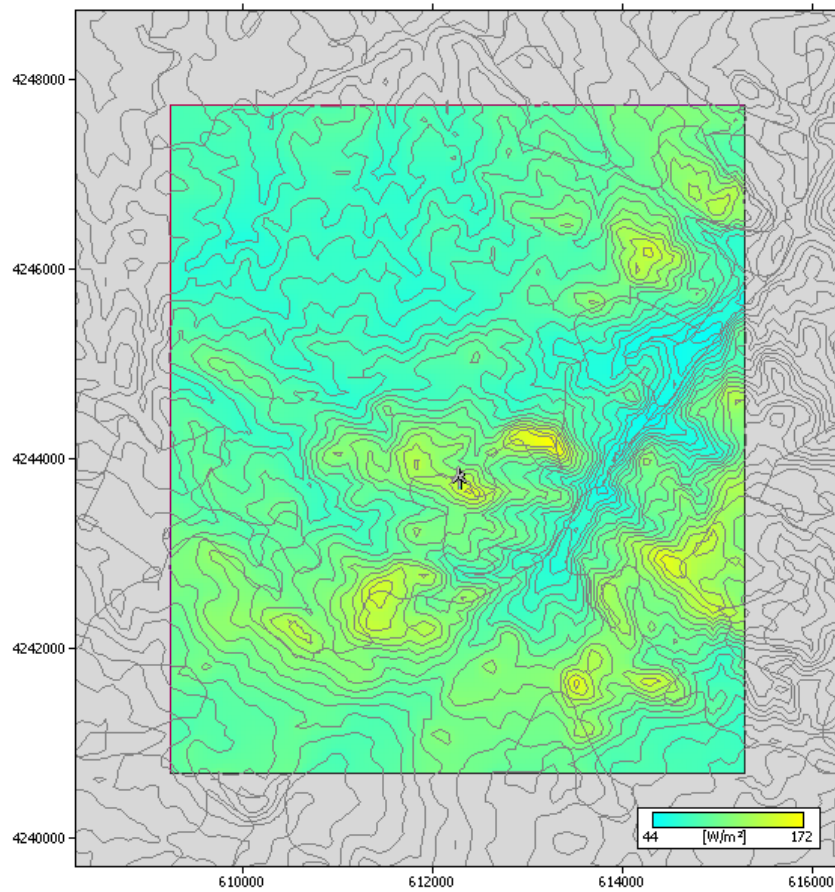


Figura 160: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT233

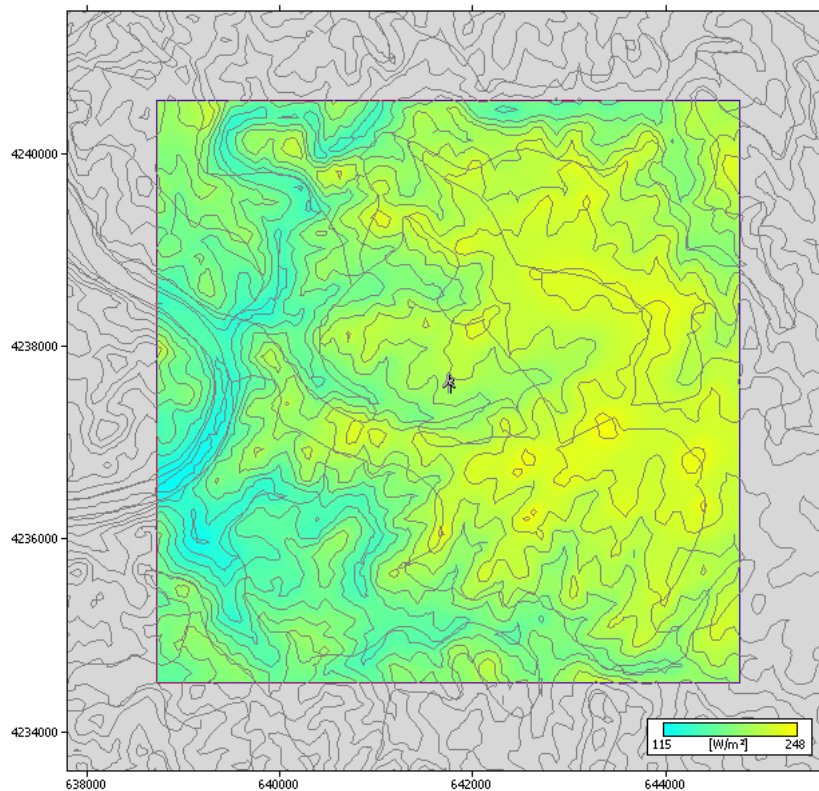


Figura 161: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT233 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT284

Anexo O – Grelhas obtidas a partir de dados de vento locais e de previsões cruzadas da velocidade média e da potência para as Estações de Medição PORT284 e PORT192

O.1. Previsões da Velocidade Média

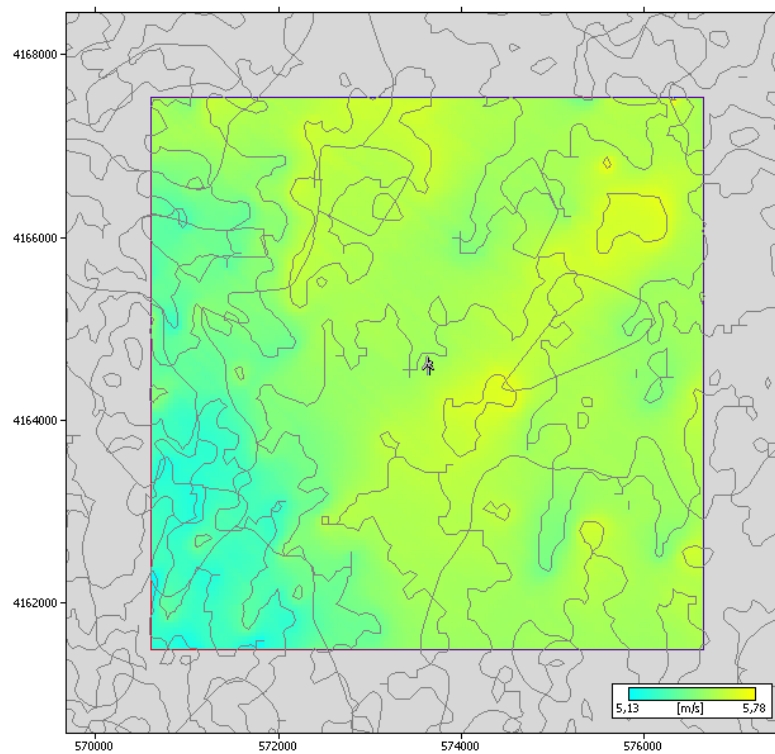


Figura 162: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados de ventos medidos localmente

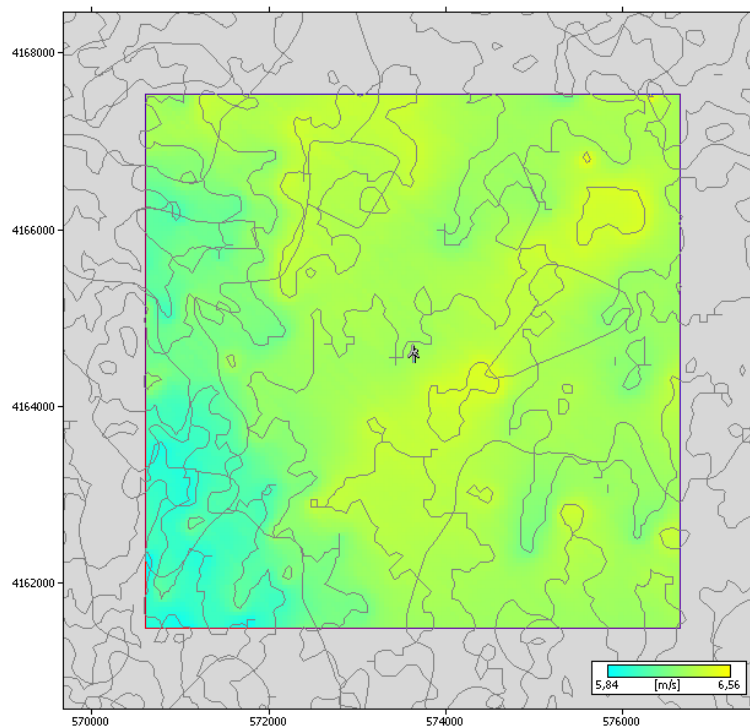


Figura 163: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT192 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT284

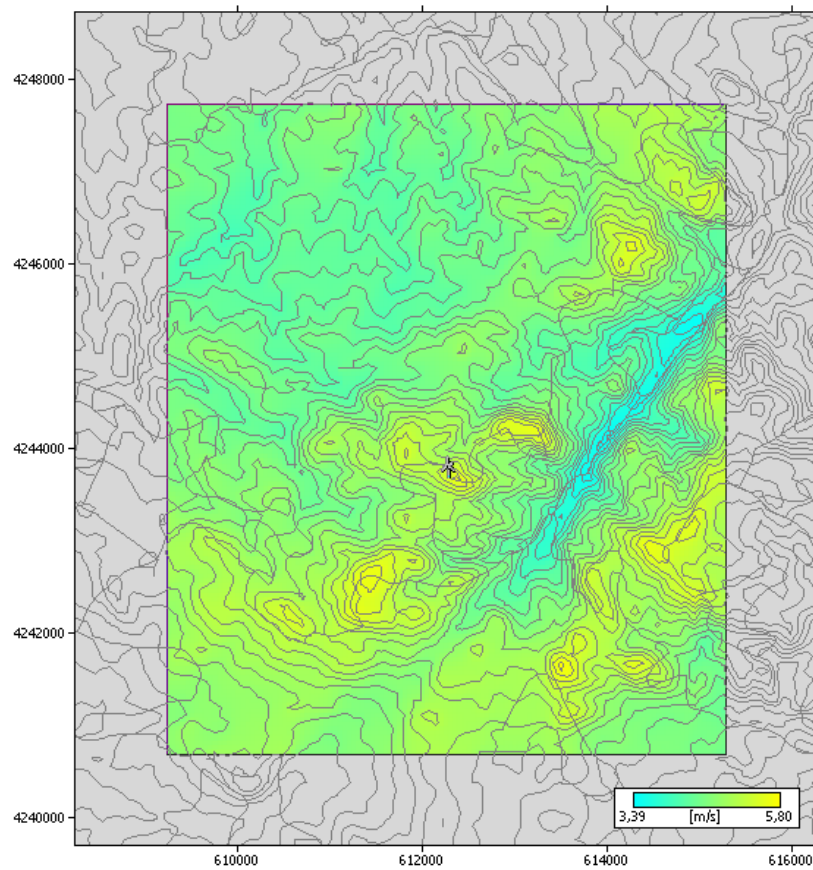


Figura 164: Distribuição da velocidade média prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT192

O.2. Previsões da Densidade de Potência

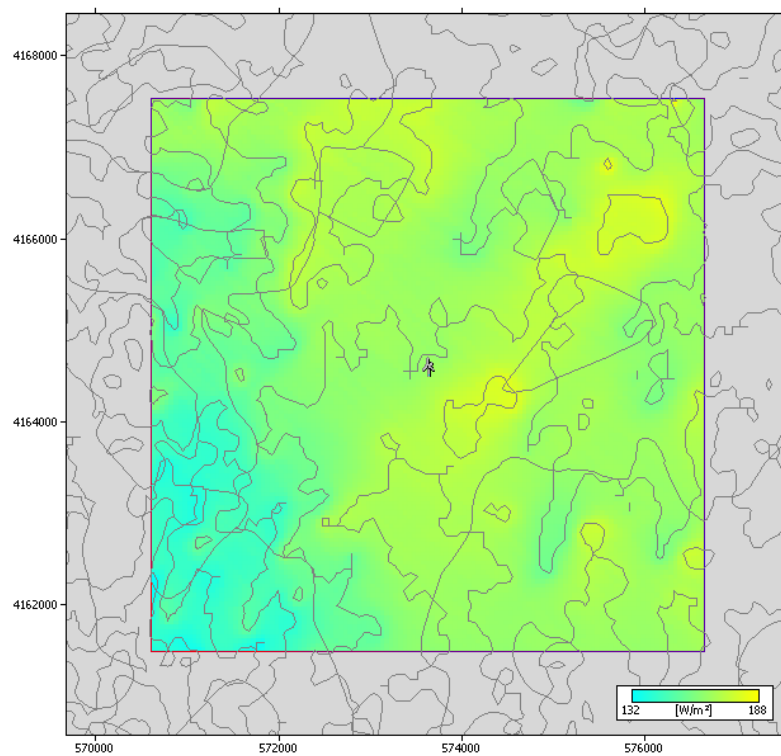


Figura 165: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT192 a partir dos dados de ventos medidos localmente

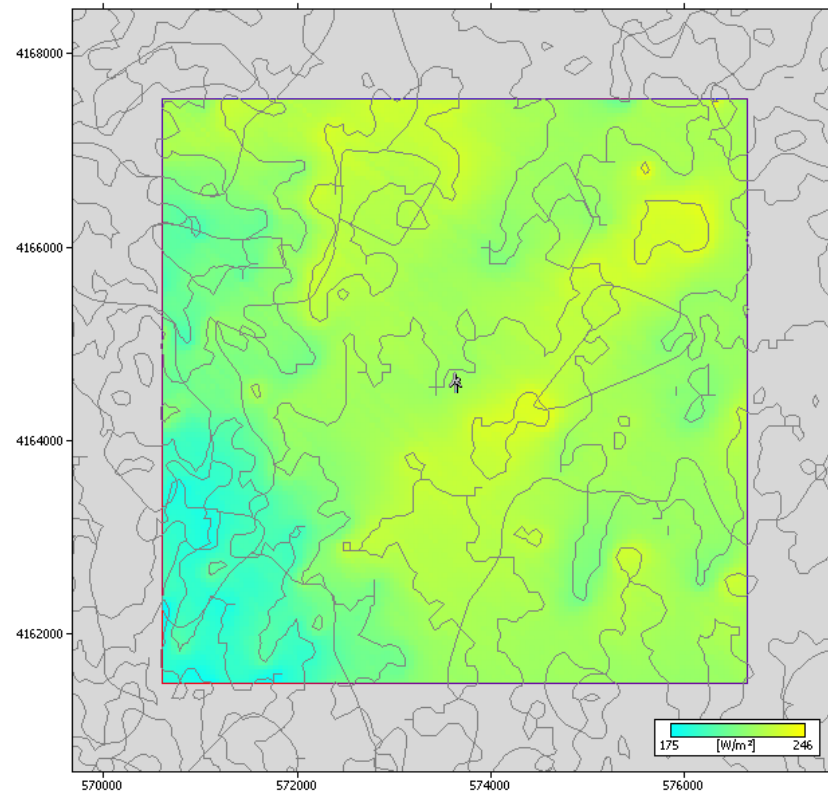


Figura 166: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT192 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT284

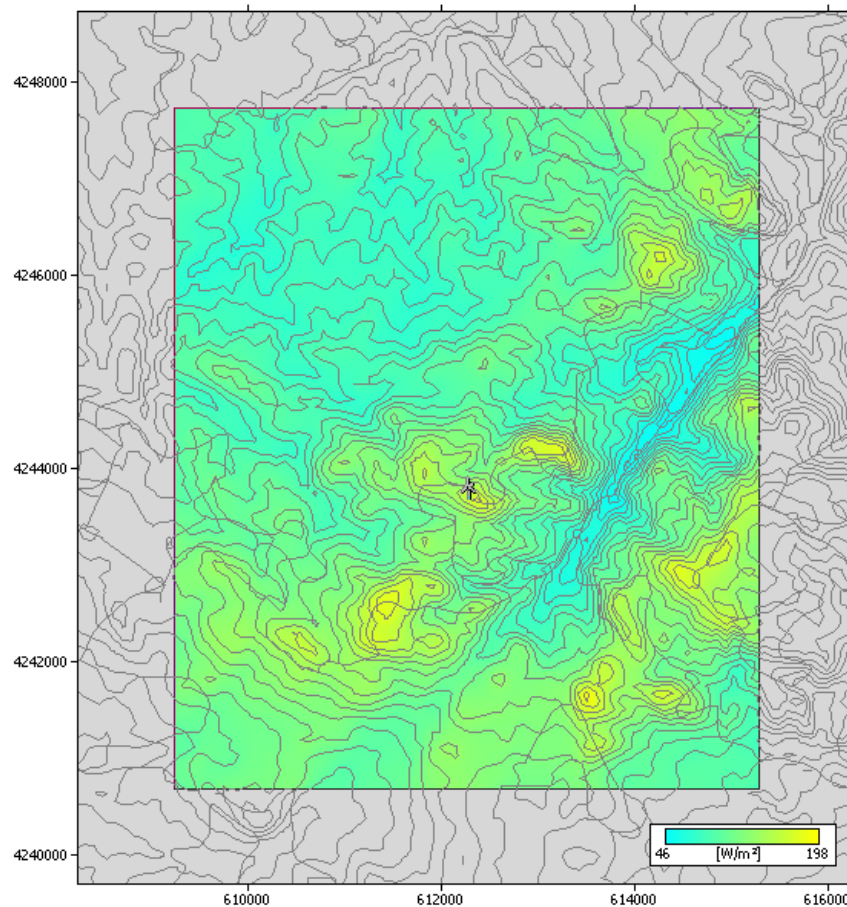


Figura 167: Distribuição da densidade de potência prevista para a grelha de 36 km² em torno da estação de medição PORT284 a partir da previsão dos dados de ventos medidos na estação de medição PORT192